3 17
4907 5

LA
FACE DE LA TERRE

(DAS ANTLITZ DER ERDE)

TOME III : 4e Partie *(Fin)*

LIBRAIRIE ARMAND COLIN

La Face de la Terre *(Das Antlitz der Erde)*, par **ED. SUESS**, traduit de l'allemand et annoté sous la direction de Emm. de Margerie, avec une Préface par Marcel Bertrand, de l'Académie des Sciences, et un Épilogue par Pierre Termier, de l'Académie des Sciences :

Tome I. — **Les Montagnes.** Avec une Préface par Marcel Bertrand. In-8° de xvi-836 pages, avec 2 *cartes en couleur* et *122 figures*, dont 76 exécutées pour l'Édition française, broché . . . . . **20** fr.

Tome II. — **Les Mers.** In-8° de 878 pages, avec 2 *cartes en couleur* et *128 figures*, dont 85 exécutées pour l'Edition française, broché (tirage *1918*, prix modifié). **25** fr.

Tome III. — **La Face de la Terre** : 1re Partie. In-8° de xii-530 pages, avec *3 cartes en couleur* et *94 figures*, dont 67 exécutées pour l'Édition française, broché. . **15** fr.

— 2e Partie. In-8° de xii-426 pages, avec 2 *cartes en couleur* et *124 figures*, dont 101 nouvelles (89 exécutées spécialement pour l'Édition française), broché. . . **12** fr.

— 3e Partie. In-8° de xii-404 pages, avec *1 carte en couleur*, 2 *planches* et *92 figures*, dont 80 exécutées spécialement pour l'Édition française, broché. . . . . **12** fr.

— 4e Partie *(Fin)*. Avec un Épilogue par Pierre Termier. In-8° de xvi-364-*258* pages, avec *2 cartes en couleur, 3 planches* et *115 figures*, dont 90 exécutées spécialement pour l'Édition française, broché. . . . . **25** fr.

A cette 4e Partie du Tome III sont jointes les *Tables générales* de l'Ouvrage.

EDUARD SUESS

1831 _ 1914

d'après une gravure d'Alfred Cossmann

Librairie Armand Colin, Paris

LA
FACE DE LA TERRE

(DAS ANTLITZ DER ERDE)

PAR

ED. SUESS

ANCIEN PROFESSEUR DE GÉOLOGIE A L'UNIVERSITÉ DE VIENNE (AUTRICHE)
ASSOCIÉ ÉTRANGER DE L'INSTITUT DE FRANCE (ACADÉMIE DES SCIENCES)

TRADUIT DE L'ALLEMAND AVEC L'AUTORISATION DE L'AUTEUR
ET ANNOTÉ

SOUS LA DIRECTION DE

EMM. DE MARGERIE

TOME III : 4e PARTIE (FIN)

Avec un *ÉPILOGUE* par **P. TERMIER**
de l'Académie des Sciences

---

2 CARTES EN COULEUR, 3 PLANCHES ET 115 FIGURES
dont 90 exécutées spécialement pour l'Édition française

153872
5/1/20

LIBRAIRIE ARMAND COLIN
103, BOULEVARD SAINT-MICHEL, PARIS

1918

Tous droits réservés

GB
53
S814
t. 3
pt. 4

TABLE ANALYTIQUE DES MATIÈRES

QUATRIÈME PARTIE

LA FACE DE LA TERRE (*fin*).

CHAPITRE XXIII

Analyses.

Analyse du plan, p. 1361 : 1. Laurentia, p. 1362; 2. Calédonides, p. 1363; 3. Édifice Asiatique, p. 1363; 4. Massif Bohémien, p. 1365; 5. Continent de Gondwana, p. 1365; 6. Montagnes du Cap, p. 1367; 7. Australie et Océanides, p. 1367; 8. Édifice Andin, p. 1367; 9. Antarctide, p. 1368. — Enchaînement et rebroussement, p. 1369. — Importance des avant-fosses, p. 1374. — Plissement, p. 1376. — Plissement à rebours et extinction des plis dans l'Édifice Asiatique, p. 1381 : Amphithéatre d'Irkoutsk, Arc de Verkhoïansk; Monts Roumanzov, Montagnes Rocheuses, p. 1382; Nord et Sud de la Chine, p. 1383; Cambodge, Bornéo, Faîte de Minoussinsk, p. 1390; Europe, p. 1392.

Analyse des Arcs, p. 1398. Comparaison avec les Antilles; 1. Philippines, p. 1398; 2. Iles Riou-Kiou, p. 1398; 3. Alaskides, p. 1402; 4. Iles Bonin, p. 1402. — Arcs des Océanides, p. 1405. — Analyse de l'Édifice Andin, p. 1406. — Parties méridionales et occidentales de l'Édifice Asiatique, p. 1409 : Ouralides, Arc Birman, p. 1409; Altaïdes Occidentales, arcs de bordure interne, p. 1410; Elbourz, Arc Tauro-Dinarique, p. 1418. — Volcans, p. 1423.

Analyse de quelques coupes transversales, p. 1425. — Alpides : Boryslaw, Autriche, p. 1426; Jura, p. 1427. Zone Calédonienne, p. 1429; plis de torsion, p. 1432. — *a*) Zone d'Erriboll, p. 1432; *b*) Bassin houiller franco-belge, p. 1433. Massif de Theux, p. 1440; surfaces listriques, p. 1441; *c*) Les Alpes, p. 1444; Alpes Suisses, p. 1444; massif de la Hornfluh, p. 1449; Alpes Orientales, p. 1453; Carpathes, p. 1455.

CHAPITRE XXIV

Les Profondeurs.

Constitution des Profondeurs, p. 1457. — Parallèle avec les météorites, p. 1457. — Le platine et le nickel, p. 1459. — Distribution des éléments chimiques dans l'écorce terrestre, p. 1461. — Le gisement de Sudbury (Canada), p. 1463.

Dégagements gazeux, p. 1464. — Rôle de la vapeur d'eau dans les éruptions volcaniques, p. 1464; eaux vadoses et eaux juvéniles, p. 1467. — Température des laves, p. 1469.

Batholithes, p. 1471. — Mise en place du granite par digestion des roches encaissantes : Erzgebirge, Bretagne, p. 1473; veines périphériques de pegmatite, p. 1475. — Histoire des mines de Joachimsthal, p. 1477.

Relations avec les Volcans, p. 1478. — Définitions, p. 1481. — Batholithe de Marysville, p. 1481; exemples divers, p. 1485; masses intrusives de l'Absaroka, p. 1485. Granite du Transvaal, p. 1486. — L'éruption de la Montagne Pelée, p. 1490. — Rôle des gaz juvéniles, p. 1490. — Batholithes simiques, p. 1493.

Injection passive, p. 1494. — Filons de grès; filons bitumineux, p. 1494. — Extrusion par pression hydrostatique, p. 1495. — Laccolithes de l'Ouest Américain, p. 1495.

Les Roches vertes, p. 1497; leur association avec les dépôts de mer profonde (Radiolarites), p. 1499. — Rapports avec les charriages : Himalaya, p. 1501; Nouvelle-Zélande, Dinarides, p. 1504.

CHAPITRE XXV

Apparition et distribution des Volcans.

Explosions phréatiques, p. 1506. *Volcanetti* de l'Italie Centrale, p. 1507; origine du Ries, p. 1507; « embryons de volcans » de la Souabe, p. 1507; *Necks* de Fife, p. 1509.

Relations avec les filons, p. 1510 : épanchements et necks du Nouveau-Mexique, p. 1510; Etna, p. 1514. — Injections basaltiques d'Ostrau, p. 1515; Cleveland Dyke, p. 1515; Yogo Canyon, p. 1516. — Réseaux de dykes; fentes et fractures; diaclases parallèles, filons métallifères, p. 1516.

Cheminées Sud-Africaines, p. 1519. — Affaissement du Karroo, p. 1521. — Dykes doléritiques du Matatiélé, p. 1521; dyke basaltique de Sutherland, p. 1522; Mine Saint-Augustin, p. 1523. — Gisements du diamant, p. 1524.

Distribution des Volcans, p. 1525. — Champs volcanisés diffus, p. 1525. Volcans greffés sur des lignes disjonctives, p. 1526. Volcans en groupes, p. 1527. — Épanchements divers, p. 1528.

Alignements volcaniques, p. 1531. — Iles Lipari, p. 1531; Alpides, p. 1532; Méditerranée Occidentale, p. 1532; Océan Indien, p. 1532; fractures Africaines, p. 1533; lignes disjonctives de l'Asie intérieure, p. 1534; guirlandes insulaires et arcs de bordure, p. 1536; bouches d'éruption en chapelet (Laki), p. 1537. — Déplacement latéral des volcans, p. 1538; variété des combinaisons réalisées dans la nature,

p. 1540. — Zone d'Ivrée, Dinarides, p. 1540; Cook Inlet, Colombie Britannique, p. 1541.

Laves atlantiques et laves pacifiques, p. 1541. — La série téphritique caractérise le domaine des effondrements récents, la série andésitique le domaine des plissements tertiaires, p. 1542. — Origine probable de ce contraste, p. 1545.

CHAPITRE XXVI

La Lune. — Questions théoriques. — Coup d'œil général.

I

La Lune, p. 1547. — Relief comparé de la Terre et de la Lune, p. 1548. — Données fournies par la photographie, p. 1549. — Grandes régions de fusion, p. 1550. — Remparts circulaires; parallèle avec les volcans des Iles Hawaii, p. 1552. — Cratères chevauchants, p. 1557; rayonnements de Tycho, p. 1558; cônes de projections, fosses et fractures, p. 1561. — Cirques et cratères jumeaux, p. 1562. Évolution du volcanisme lunaire, p. 1562. — La *Vallée des Alpes* et le *Mur Droit*, p. 1563. — Accidents rectilignes, p. 1563.

Bassins marins lunaires et terrestres, p. 1564. Origine des Océans; rôle des affaissements; comparaison avec l'Islande et la Calabre, p. 1564. — Phases successives de la consolidation de l'écorce lunaire, p. 1565. — Hauteur moyenne des Continents et profondeur moyenne des Mers, p. 1566; l'hypothèse de leur permanence doit être écartée, p. 1567. — Remplissage des « Mers » par les laves, p. 1569. — Hypothèse météoritique, p. 1569. — Importance des éruptions sous-marines, p. 1569.

Séparation de la Lune et ses conséquences, p. 1570. — La plate-forme continentale; déplacements récents des lignes de rivage et variabilité corrélative de l'aplatissement des pôles, p. 1570. — Influence retardatrice des marées sur la vitesse de rotation, p. 1573; recherches de H. Poincaré et de G. H. Darwin, p. 1573; la « poire » de Jacobi, p. 1574. — Actions réciproques de la Terre sur la Lune et de la Lune sur la Terre, p. 1574. Traces de l'ellipsoïde primitif, p. 1575. — « Harmoniques sphériques » de Love, p. 1576. — Comparaison avec les météorites vitreuses, p. 1578. — Densité de la Lune, p. 1579. — Anciennes surfaces d'abrasion, p. 1579. — La direction des chaînes de montagnes dans ses rapports avec la rotation de la Terre, p. 1580. — La surface du Globe porte l'empreinte de plusieurs plans successifs, p. 1581. Déformations de la planète et dislocations de son écorce, p. 1581.

II

Compensation isostatique des Montagnes, p. 1581. — Théorie de Pratt, p. 1581; travaux de Sterneck et de Helmert, p. 1583. — Hypothèse de l'Isostasie, p. 1584. Résultats obtenus pour des massifs isolés : Iles Hawaii, Etna, p. 1588. — Méthode de réduction des observations; formule de Bouguer, modifiée par Clarke et par Faye, p. 1589; son application aux États-Unis, p. 1589. Accord de la Géodésie et de la Géologie, p. 1591. Interprétation des faits observés dans le Tyrol, p. 1591. — Travaux récents sur l'Inde : l'Himalaya et son avant-fosse, p. 1591; déviations de la verticale, p. 1594. — Données fournies par la balance de torsion, p. 1597. Insuffisance des mesures pendulaires, p. 1598.

Compensation des Continents, p. 1599. — Application de l'hypothèse isostatique à l'Asie, p. 1599. — Déviations de la verticale aux États-Unis; études de Tittmann et Hayford, p. 1600. — Mesures pendulaires exécutées sur les côtes; travaux de Hecker, ses déterminations dans l'Océan Indien, l'Atlantique et le Pacifique, p. 1601. Conclusions qui s'en dégagent sur la constitution probable du fond des mers, p. 1604. — Observations sur la densité des roches, p. 1605. — Histoire de l'Océan Indien et du Continent de Gondwana, p. 1606.

III

Contraction du Globe terrestre, p. 1611. Théorie d'Élie de Beaumont, p. 1611. Caractère dissymétrique des chaînes de montagnes, p. 1611. Plissements en retour dans l'Édifice Asiatique, p. 1612. — Diminution du rayon terrestre; rapport entre l'amplitude des affaissements et l'importance des mouvements tangentiels, p. 1612. Age récent des Alpes et des Dinarides, p. 1614. — Rigidité du Globe, p. 1614. Consolidation de l'écorce, p. 1614. Origine des avant-fosses, p. 1617. — Déplacements négatifs des rivages et prétendus mouvements « épirogéniques »; transgressions, p. 1619. — Problèmes divers, p. 1619.

Coup d'œil général, p. 1620. Aspects successifs du Globe terrestre tournant autour de son axe, p. 1620. — Unité de structure des arcs Asiatiques, p. 1621; Altaïdes Orientales et Occidentales, p. 1622; Australie, p. 1622; la presqu'île de l'Inde, p. 1622. — Europe et Afrique : Ouralides et Calédonides, p. 1622; contraste entre les Altaïdes Occidentales et les Dinarides, p. 1623; Altaïdes posthumes, Alpides, p. 1624; Saharides, Karroo, Chaînes du Cap, p. 1625. — Amérique, p. 1626; Chaîne des États-Unis, Laurentia, p. 1626; Appalaches, p. 1627; Montagnes Rocheuses, Chaîne du Saint-Élie, Montagnes Intermédiaires, p. 1627; Chaîne des Andes, avant-pays Brésilien, p. 1628; Antilles Australes, p. 1629. — Alaskides, p. 1629; l'Océan Pacifique et ses arcs successifs, p. 1630; l'Antarctide, p. 1631.

CHAPITRE XXVII

La Vie.

I

Introduction, p. 1632. — Solidarité des êtres vivants; la Biosphère, p. 1632. — Origine de la vie; la faune cambrienne n'est pas la plus ancienne, p. 1633. — Extinction future des organismes, p. 1633. — Influence du milieu, p. 1634. — Évolution de la Lithosphère, p. 1635. — Adaptation rayonnante des faunes, p. 1636; Dépendance mutuelle de certains groupes, p. 1636. — Rôle des migrations; îlots résiduels et Colonies, p. 1636. — Apparition de variétés nouvelles chez les Végétaux, p. 1637.

II

La Plage, p. 1638. Limite de pénétration des rayons solaires, p. 1638. Ancienneté prétendue de la faune des grands fonds, p. 1639. Polymorphisme des

Mollusques; histoire des Unios et des Trigonies, p. 1639. — Le mouvement terripète chez les Poissons, p. 1640. Évolution du poumon, p. 1641. Modifications subies par l'appareil auditif, p. 1641. Œil pariétal des Reptiles fossiles et du *Sphenodon*, p. 1642. La lutte contre l'obscurité chez les animaux marins : atrophie de l'œil, hypertrophie, organes phosphorescents, p. 1644.

III

Histoire de la Mer Caspienne. — Le domaine paléocaspien; comparaison avec le Sahara, p. 1646.

1° *Évolution des faunes dans l'Europe Centrale et Orientale*, p. 1647. — Le Premier Étage Méditerranéen; époque du Schlier, p. 1647; le Deuxième Étage Méditerranéen, p. 1648. Affinités malaises de la faune de Steinheim, p. 1648. Isolement définitif du domaine paléocaspien : la Mer Sarmatique, p. 1648. Affinités africaines de la faune pontique, p. 1649. Invasion de la faune holarctique, p. 1650.

2° *Parallèle avec l'Inde*, p. 1650. — Structure du Golfe Persique; succession des couches tertiaires sur ses bords, p. 1650; analogies avec l'Europe, p. 1651. — Faunes diverses actuellement représentées dans l'Inde, p. 1653.

3° *Parallèle avec l'Afrique du Nord*, p. 1655. — Faunes fossiles du Fayoum, p. 1656. Résidu malais dans la faune africaine actuelle, p. 1658.

4° *Résumé général*, p. 1661. — Succession des faunes terrestres et des étages méditerranéens, p. 1661. Extension des dépôts méotiques et pontiques, p. 1662. — L'Homme, contemporain de la faune africaine en Europe et dans l'Inde, p. 1664. — L'époque glaciaire, p. 1665. Abaissement du niveau de la Mer Noire, p. 1666. Ouverture des Dardanelles, p. 1666. La Caspienne et la Mer d'Aral, p. 1666. Distribution des Poissons d'eau douce dans l'Europe Orientale et en Asie, p. 1667. — Traces d'un desséchement récent, p. 1667.

IV

L'apparition des Mammifères Placentaires, p. 1669. — Effets du déplacement vertical des rivages, p. 1669. Émersion à la limite du Jurassique et du Crétacé, p. 1669. — Le Lac de Laramie, p. 1670. — Premières faunes éocènes : étages de Puerco et de Torrejon, p. 1671; leurs équivalents aux environs de Reims, p. 1672. — Influence des mouvements eustatiques sur l'évolution des organismes, p. 1673.

V

Asiles, caractérisés par l'absence de plissements récents et la rareté des transgressions marines, p. 1673.

1. *Laurentia*; flores mésozoïques de sa bordure, p. 1675. — Parallélisme des faunes tertiaires en Europe et dans l'Amérique du Nord, p. 1675. La jonction Nord-Atlantique, p. 1676.

2. *Continent de l'Angara*, p. 1677.

3. *Continent de Gondwana*, p. 1677; comment l'ouverture de l'Atlantique en a détruit la continuité, p. 1678. Liseré tertiaire des côtes d'Europe, p. 1679. — Empiétement de la Téthys sur une partie de l'Océan actuel, p. 1680. — Côtes de la Guyane

et du Brésil, p. 1680; côtes de l'Afrique Occidentale; Mer Intérieure Africaine, p. 1681. — La jonction Sud-Atlantique, p. 1682.

4. *Antarctide*; son ancienne extension vers le Nord, p. 1683. — *a*) *Australie*, p. 1684; répartition des Pingouins vivants et fossiles, p. 1685; éléments divers de la faune australienne, p. 1685. — *b*) *Patagonie*, p. 1686. Faunes à *Notostylops* et à *Pyrotherium*, p. 1686; faune de Santa-Cruz; faune des Pampas, p. 1687. Rapports avec l'Australie, p. 1687. — Peuplement du Pacifique Occidental, p. 1688.

Parallélisme du développement de la Vie dans les grands asiles, p. 1689; leur constitution tectonique, p. 1690; ancienneté de leur hydrographie, p. 1690. Distribution des Poissons d'eau douce; la faune des grands lacs Africains, p. 1691. — Tous les asiles répondent à des régions *périphériques* (Richthofen), p. 1692. — Approfondissement graduel des Océans et accroissement corrélatif de l'étendue des Continents, p. 1693; la Téthys incorporée aux masses préexistantes, p. 1693. — Retour futur à la « Panthalassa », p. 1693.

Explication des Cartes 1695-1708

Épilogue, par PIERRE TERMIER 1709-1724

Tables générales de l'Ouvrage *1-258*

TABLE DES PLANCHES ET FIGURES[1]

Pages.

* Portrait d'Ed. Suess, d'après une gravure d'Alfred Cossmann. . . . Frontispice.

Pl. XI. Fragment de la surface lunaire : Apennins, Caucase, Alpes, d'après un cliché de Lœwy et Puiseux 1564

Pl. XII. Fragment de la surface lunaire : Purbach, Orontius, Stœfler, d'après un cliché de Lœwy et Puiseux. 1570

Pl. XIII. Analyse schématique de la surface terrestre. 1630

Pl. XIV. Essai d'une analyse de l'Europe, d'après l'état de la Science en 1908. 1708

Pages.

Fig. 309. * Jonction des couches de Gondwana et des couches de Siwalik au pied de l'Himalaya (Kalapani, Bhoutan), d'après G. E. Pilgrim. 1371

— 310 et 311. Fentes dans l'asphalte, d'après des photographies publiées dans l'édition allemande. 1372

— 312. * Anticlinaux tertiaires du Sind et du Baloutchistan Oriental, d'après E. Vredenburg. 1377

— 313. * Recouvrements et renversements du Ki-Chou-Chan (Chan-Si), d'après E. Blackwelder. 1383

— 314. * Directrices des plissements dans la Chine Méridionale, d'après J. Deprat. 1385

— 315. * Traits généraux de la tectonique du Yun-Nan Oriental, d'après J. Deprat. 1387

— 316. * Croquis tectonique des feuilles de That-Khé et de Pho-Binh-Gia (Tonkin), d'après G. Zeil. 1391

— 317. * Directrices tectoniques des Iles Philippines, d'après Warren D. Smith et M. Saderra Masó 1395

— 318. * Directrices tectoniques de la Côte Nord-Ouest de Bornéo, d'après C. Schmidt. 1398

— 319. * La Chaîne Centrale de Bornéo, d'après G. A. F. Molengraaff. . 1399

— 320. * L'arc des Riou-Kiou, d'après F. von Richthofen. 1401

— 321. * Esquisse tectonique de la Corée, d'après B. Kotō. 1403

— 322. * Coupe dans l'Himalaya Oriental (Tibet), d'après H. H. Hayden. 1413

— 323. * Chaînes parallèles du Tibet Oriental, d'après Sven Hedin. . . . 1415

— 324. * Charriages du Nord de l'Albanie, d'après F. Nopcsa 1422

1. Les figures dont le titre est précédé d'une astérique sont ajoutées à l'illustration de l'ouvrage original (90 ont été exécutées spécialement pour l'édition française); les autres sont empruntées à l'édition allemande (F. Tempsky et G. Freytag, éditeurs, Vienne-Prague-Leipzig).

Pages.

Fig. 325. * Les volcans du Caucase Central (Vallée du Terek), d'après Alb. Heim 1425
— 326. Sondages profonds de Borysław, d'après J. Grzybowski et P. Miaczynski 1426
— 327. La vallée du Rhin près de Bâle, d'après G. Steinmann 1427
— 328. Champ de fractures du Jura tabulaire, d'après F. von Huene. . 1428
— 329. Pli de torsion du Ben More (Assynt), d'après B. N. Peach, J. Horne, etc. 1433
— 330. * Coupe théorique du bassin houiller du Nord à l'Ouest de Denain, d'après Ch. Barrois. 1434
— 331. Allure du terrain houiller aux environs de Denain et d'Anzin, d'après M. Bertrand. 1435
— 332. Lambeaux de recouvrement de Fontaine-l'Évêque (Hainaut), d'après Alph. Briart. 1436
— 333. Coupe des lambeaux de recouvrement de Fontaine-l'Évêque (Hainaut), d'après Alph. Briart. 1436
— 334. * Coupe théorique passant par la région de Charleroi et représentant l'allure des couches après les grands chevauchements horizontaux, d'après M. l'abbé de Dorlodot. 1437
— 335. * Coupe montrant les relations présumées du massif de Theux avec la région septentrionale, d'après P. Fourmarier. 1440
— 336. * Deux coupes à travers la « Sutanüberschiebung » (bassin houiller de la Westphalie), d'après L. Cremer. 1441
— 337. Coupe entre les fosses Saint-Éloi et Saint-Léon (bassin houiller du Hainaut), d'après Alph. Briart. 1442
— 338. * Coupe composite montrant le déroulement des Nappes Helvétiques entre Engelberg et Meiringen, d'après P. Arbenz. . . . 1445
— 339. Les nappes de plissement glaronnaises, d'après Alb. Heim . . . 1447
— 340. * Coupe schématique à travers les nappes des Alpes Suisses suivant la ligne Säntis-Chiasso, d'après Alb. Heim. . . . 1448, 1449
— 341. * Tête de pli-faille plantée dans le Flysch à Saint-Jean-d'Aulph (Chablais), d'après M. Lugeon. 1450
— 342. Coupe à travers une partie des Préalpes médianes (Region Rubli-Gummfluh), d'après Fr. Jaccard 1450, 1451
— 343. Le Mattstock, entre la Thur et le Lac de Walenstadt (Canton de St-Gall), d'après Arn. Heim 1452
— 344. * Charriages en miniature, d'après une expérience de Bailey Willis. 1453
— 345. Essai d'une coupe schématique de la Haute-Tatra, d'après V. Uhlig. 1455
— 346. * Coupe à travers la cuvette nickelifère de Sudbury (Canada), d'après A. P. Coleman. 1464
— 347. * Gîtes de nickel de Sudbury (Canada), d'après A. P. Coleman. . . 1465
— 348. * Bosses et massifs granitiques de l'Erzgebirge, d'après K. Dalmer. 1472
— 349. * Culot éruptif composite du Mont Ascutney (Vermont), d'après R. A. Daly. 1474
— 350. Toit du granite de Markersdorf (Saxe), d'après un croquis de l'auteur 1475
— 351. * Batholithe de Marysville (Montana), d'après J. Barrell 1479
— 352. * Coupe à travers le batholithe de Marysville (Montana), d'après J. Barrell. 1482

Pages.

Fig. 353. * Intrusions des Monts Absaroka (Wyoming), d'après Arn. Hague. 1483
— 354. * Batholithe de Boulder (Montana), d'après W. H. Weed. 1487
— 355. * Laccolithe granitique du Boschveld (Transvaal), d'après G. A. F. Molengraaff et H. A. Brouwer. 1491
— 356. * Vue d'un laccolithe des West Elk Mountains (Colorado), d'après W. H. Holmes 1496
— 357. * Laves et blocs exotiques de Malla Johar (Himalaya), d'après A. von Krafft. 1502
— 358. * Coupe du versant nord de la vallée de Kiogarh (Himalaya), d'après A. von Krafft 1503
— 359. * Coupe à travers la dépression du Ries (Allemagne du Sud), d'après W. Branco et E. Fraas. 1507
— 360. * Coupe schématique de Stuttgart au Danube, d'après W. Branco. 1508
— 361. * « Embryons de volcans » du Württemberg, d'après W. Branco. 1509
— 362. * Coupe de Lawpark à Wester Balrymonth Hill (Écosse), d'après Sir Arch. Geikie. 1511
— 363. * « Volcanic Necks » du Comté de Fife (Écosse), d'après Sir Arch. Geikie. 1511
— 364. Mesa du Mont Taylor et Mesa Prieta (Nouveau-Mexique), d'après C. E. Dutton. 1513
— 365. * Le Cabezon, « neck » volcanique du Nouveau-Mexique, d'après D. W. Johnson. 1514
— 366. * Coupe longitudinale du Cleveland Dyke (Angleterre), d'après J. G. Goodchild. 1515
— 367. Terminaison en profondeur d'un dyke de basalte (carrières de Cockfield, Angleterre), d'après J. J. H. Teall 1515
— 368. * Gisement de saphir du Yogo Canyon (Montana), d'après W. H. Weed. 1516
— 369. * Dykes convergents de la région des Pics Espagnols (Colorado), d'après R. C. Hills 1517
— 370. * Coupe synthétique des volcans de Charade, Gravenoire et Beaumont (Chaîne des Puys), d'après Ph. Glangeaud 1518
— 371. Dyke doléritique de Makomereng (Afrique Australe), d'après E. H. L. Schwarz. 1520
— 372. Dyke interrompu du Matatielé (Afrique Australe), d'après E. H. L. Schwarz. 1521
— 373. Disposition des affleurements de basalte à mélilite près de Sutherland (Afrique Australe), d'après A. W. Rogers et A. L. Du Toit. 1522
— 374. Plan de la Mine Saint-Augustin, près Kimberley (Afrique Australe), d'après A. L. Du Toit. 1523
— 375. * Plateaux basaltiques du Groenland Nord-Occidental (Disko et Nugsuak), d'après Arn. Heim 1525
— 376. * Extension des roches volcaniques entre Yellowstone et Snake River (États-Unis), d'après J. P. Iddings 1527
— 377. * Alignements volcaniques de la Chaîne des Puys d'Auvergne, d'après Ph. Glangeaud 1529
— 378. * Fractures et massifs volcaniques de la France Centrale, d'après M. Boule. 1530
— 379. * Fissure volcanique de Laki (Islande), d'après A. Helland . . . 1537
— 380. * Distribution des roches « atlantiques » et des roches « pacifiques » récentes autour du Grand Océan, d'après A. Harker . . 1544

Pages.
Fig. 381. * Coupes à travers l'écorce de la Lune, d'après F. Sacco 1551
— 382. * Coupe à l'échelle d'un cirque lunaire : Ératosthène, d'après L. Rudaux. 1552
— 383. * Un grand cirque lunaire : Clavius, d'après G. K. Gilbert. . . . 1553
— 384. * Coupe transversale du Kilauea (Iles Hawaii), d'après Arn. Heim. 1555
— 385. * Cratère d'effondrement du Kilauea (Iles Hawaii), d'après H. E. Newton et Arn. Heim 1555
— 386. * Cirques et fractures volcaniques des Monts Albains, d'après V. Sabatini. 1557
— 387. * Bouches volcaniques des environs du Lac de Bracciano, d'après F. Moderni 1559
— 388. * Crevasse du Tarawera et Cratère du Rotomahana (Nouvelle-Zélande), d'après J. M. Bell 1561
— 389. * Topographie du Meteor Crater (Arizona), d'après M. Baker . . . 1568
— 390. * La plate-forme continentale au Nord de la Sibérie, d'après F. Nansen. 1572
— 391. * Harmoniques sphériques des trois premiers degrés, d'après A. E. H. Love 1576
— 392. * Allure de la ligne définissant le niveau moyen de la surface solide du Globe terrestre, d'après A. E. H. Love 1577
— 393. * Déterminations de la pesanteur faites autour du massif de l'Oetzthal (Alpes Autrichiennes), d'après F. R. Helmert. . . . 1582
— 394. * Anomalies de la pesanteur dans les Carpathes, d'après R. von Sterneck. 1583
— 395. * Anomalies de la pesanteur dans les Alpes Orientales, d'après R. von Sterneck 1584
— 396. * Anomalies de la pesanteur en Europe, d'après G. Costanzi . . . 1585
— 397. * Anomalies de la pesanteur autour de la Chaîne des Alpes, d'après G. Costanzi. 1586
— 398. * Anomalies de la pesanteur en Sicile, d'après A. Riccó 1587
— 399. * Variations inverses du relief et de la gravité en Sicile, d'après A. Riccó. 1588
— 400. * Profil en travers des États-Unis aux environs du 39e parallèle, d'après G. R. Putnam. 1590
— 401. * Parallélisme entre la limite des plateaux de l'Inde et le bord des grandes chaînes asiatiques, d'après S. G. Burrard et H. H. Hayden 1592
— 402. * Coupe passant par le Kanchinjunga (Himalaya du Sikkim), d'après L. de Lóczy. 1593
— 403. * Stations géodésiques du Nord de l'Inde, d'après S. G. Burrard. . 1595
— 404. * Valeurs souterraines du gradient de la pesanteur aux environs d'Arad (Hongrie), d'après les déterminations faites à la balance de torsion par R. Eötvös 1598
— 405. * Principaux gisements jurassiques, crétacés et tertiaires du pourtour de l'Océan Indien, d'après P. Lemoine. 1607
— 406. * *Unio belliplicatus* Meek, des couches crétacées de Bear River (États-Unis), d'après C. A. White 1639
— 407. * *Unio* (*Quadrula*) *Mansuyi*. Espèce vivante de la région de Cao-Bang (Indo-Chine), d'après Ph. Dautzenberg et H. Fischer . . 1640
— 408. * Tête de *Hatteria* (*Sphenodon punctatus* Gray), d'après K. A. Zittel. 1644

Pages.

Fig. 409. * Schéma de l'œil pinéal de *Hatteria*, d'après W. B. Spencer . . . 1645
— 410. * Extension de la faune à *Hipparion* dans l'Ancien Continent, d'après H. F. Osborn 1649
— 411. * Principaux gisements de Mammifères tertiaires de l'Inde, d'après R. D. Oldham 1652
— 412. * Régions zoologiques de l'Inde, d'après W. T. Blanford 1654
— 413. * Restauration de l'*Arsinoitherium Zitteli* Beadnell, d'après C. W. Andrews. 1656
— 414. * Coupe des formations tertiaires du Fayoum, d'après H. J. L. Beadnell 1658
— 415. * Les bassins Pontique et Caspique à l'époque méotienne, d'après N. Androussov. 1660
— 416. * Extension des mers dans la région pontique à l'époque sarmatienne, d'après N. Androussov. 1661
— 417. * Transition de l'Age des Reptiles à l'Age des Mammifères. Coupe au Nord-Est des Crazy Mountains (Montana), d'après H. F. Osborn. 1670
— 418. * *Glossopteris Browniana* Feistmantel. Couches de Newcastle (Nouvelle-Galles du Sud), d'après E. Haug 1678
— 419. * Extension de la flore à *Glossopteris*, d'après David White . . . 1679
— 420. * Extension probable du Continent Antarctique à l'époque tertiaire, d'après H. F. Osborn. 1684
— 421. * Routes de peuplement du Pacifique Occidental, d'après Ch. Hedley. 1688
— 422. * *Paramelania Damoni* du Lac Tanganyka, d'après J. E. S. Moore. 1692
— 423. * *Pyrgulifera humerosa* des couches crétacées de Bear River (États-Unis), d'après C. A. White. 1693

Ont collaboré à la traduction du Tome III (4e Partie) :

MM. Baulig (Henri), chargé d'un Cours de Géographie à la Faculté des Lettres de l'Université de Rennes.

Michel-Lévy (Albert), Docteur ès Sciences, Inspecteur adjoint des Eaux et Forêts, Préparateur au Collège de France, Chargé de Conférences à la Sorbonne.

Toutes les indications ajoutées par les traducteurs, dans le texte ou en notes infrapaginales, ont été mises entre crochets [....].

Les renvois aux pages des tomes I, II, III (1re, 2e, 3e et 4e parties) s'appliquent à l'édition française.

Sauf indication contraire, les longitudes, dans le texte et sur les cartes, sont rapportées au méridien de Greenwich.

Les notes et références bibliographiques ont été traduites, vérifiées sur les documents originaux et mises à jour par Emm. de Margerie.

CHAPITRE XXIII

ANALYSES [1]

Analyse du plan : 1. Laurentia; 2. Calédonides; 3. Édifice Asiatique; 4. Massif Bohémien; 5. Continent de Gondwana; 6. Montagnes du Cap; 7. Australie et Océanides; 8. Édifice Andin; 9. Antarctide. — Enchaînement et rebroussement. — Importance des avant-fosses. — Plissement. — Plissement à rebours et extinction des plis dans l'Édifice Asiatique : Amphithéatre d'Irkoutsk; Arc de Verkhoïansk; Monts Roumanzov; Montagnes Rocheuses; Nord et Sud de la Chine; Cambodge; Bornéo; Faîte de Minoussinsk; Europe.

Analyse des Arcs. Comparaison avec les Antilles : 1. Philippines; 2. Iles Riou-Kiou; 3. Alaskides; 4. Iles Bonin. — Arcs des Océanides. — Analyse de l'Édifice Andin. — Parties méridionales et occidentales de l'Édifice Asiatique : Ouralides, Arc Birman, Altaïdes Occidentales, Arcs de bordure interne. Elbourz; Arc Tauro-Dinarique. — Volcans.

Analyse de quelques coupes transversales. Alpides : Boryslaw, Autriche, Jura; Zone Calédonienne, plis de torsion. *a*) Zone d'Erriboll. *b*) Bassin houiller franco-belge. Massif de Theux; surfaces listriques. *c*) Les Alpes : Alpes Suisses; massif de la Hornfluh; Alpes Orientales; Carpathes.

Analyse du plan. — La série des détails que nous avons indiqués est longue, et pourtant elle présente de nombreuses lacunes. L'une des plus grandes chaînes de montagnes de la Terre, la haute chaîne de la Nouvelle-Guinée, est à peu près inconnue [2]. Il n'existe sur la chaîne principale des Océanides, à laquelle elle appartient, que des observations discontinues : l'on ne possède même au sujet de la direction du plissement que des données contradictoires [3], et l'on ne peut pas encore dire en toute certitude si Timor [4] appartient à cette chaîne maîtresse. Il est

[1. Traduit par Emm. de Margerie.]

[2. Sur la Nouvelle-Guinée, voir le présent ouvrage, III, 3e partie, p. 1024-1037, fig. 234.]

[3. Le géologue australien T. E. David, en s'appuyant sur les résultats des explorations les plus récentes faites en Nouvelle-Guinée, et notamment sur celles de A. F. R. Wollaston dans la partie néerlandaise, a cherché à montrer que la chaîne principale de cette grande île est poussée vers le Sud (Geogr. Journal, London, XLIII, March, 1914, p. 272).]

[4. Sur la structure de Timor, voir III, 3e partie, p. 1035, note 4; et les travaux suivants de G. A. F. Molengraaff : *On recent crustal movements in the Island of Timor and their bearing on the geological history of the East-Indian Archipelago* (Kon. Akad. Wetensch. Amsterdam, Proc., 1912, p. 224-235, 2 fig.); *Folded Mountain Chains, Overthrust Sheets and block-faulted Mountains in the East-Indian Archipelago* (Compte rendu XIIe Congrès Géol. Internat., Toronto, 1913, p. 689-702, pl. I, II : carte et coupes géol. d'une partie de Timor); *L'Expédition néerlandaise à Timor en 1910-1912* (Archives Néerl. des Sc. Exactes et Nat., Sér. III B, II, 1915 p. 395-404).]

particulièrement regrettable que, jusqu'à présent, malgré les efforts soutenus d'un grand nombre d'explorateurs, les Andes sud-américaines nous présentent un tableau qui diffère à beaucoup d'égards de la structure des autres chaînes, et qui demeure inexpliqué [1]. La solution de ce problème et de beaucoup d'autres questions du même genre doit être laissée à l'avenir.

D'autre part, dans une foule de régions d'une certaine étendue, les grands traits de la structure sont bien connus. Un certain nombre d'unités peuvent y être discernées. Des comparaisons deviennent possibles. Des contrastes et des ressemblances apparaissent. Essayons maintenant de définir ces unités. Quoique de nature différente et de valeur inégale, nous les passerons tout d'abord en revue conformément à leur distribution dans l'espace.

1. La *Laurentia* [2] est limitée par les Montagnes Rocheuses, les Appalaches et la Chaîne des États-Unis; elle embrasse en outre le Groenland [3], peut-être aussi tout le Nord du champ de fractures de l'Atlantique [4] sur lequel se trouvent l'Islande [5] et l'Ile Jan Mayen, et

[1. Sur la structure des Andes, voir III, 3e partie, chap. XXI et XXII, p. 1207-1360; en particulier p. 1357 et suiv.]

[2. Sur la Laurentia, voir III, 2e partie, p. 931-936. Pour l'étude approfondie d'une région typique de ce territoire, voir C. R. Van Hise and C. K. Leith, *The Geology of the Lake Superior Region*. In-4°, 641 p., 76 fig., 49 pl. dont 1 carte géol. générale à 1 : 1 000 000 et 18 cartes géol. détaillées, Washington, 1911 (U. S. Geol. Survey, Monograph LII). — De nombreux documents sur la géologie du Sud de la Laurentia et de ses enveloppes sédimentaires, au Sud et à l'Ouest, sont contenus dans les *Guide Books of Excursions in Canada, issued by the Geological Survey*, Ottawa, Canada, 1913 (publiés à l'occasion de la XIIe Session du Congrès Géologique International). 2 emboîtages in-8° renfermant 13 fasc., avec un grand nombre de fig., cartes et coupes en couleurs. Au *Guide Book* n° 1, Part II (*Excursions in Eastern Quebec and the Maritime Provinces*), est jointe une *Geological Map of the Dominion of Canada and Neevfoundland* à l'échelle de 100 milles au pouce ou 1 : 6 336 000 (Map 91A, issued 1913).]

[3. Sur le Groenland, voir III, 2e partie, p. 936-942. — Pour l'étude détaillée de la géologie d'une partie caractéristique du Groenland, voir les deux mémoires posthumes de N. V. Ussing : *Geology of the Country around Julianehaab, Greenland*, et *Beretning om de Geologiske Ekspedition til Julianehaab Distrikt i Sommeren 1900* (Meddelelser om Grönland, XXXVIII, 1912, p. 1-426, 42 fig., 19 pl. dont 4 cartes géol.). Dans l'extrême Nord-Est, l'expédition conduite par L. Mylius-Erichsen a recueilli des empreintes végétales qui montrent l'existence du terrain houiller jusqu'entre 80° et 81° de lat. N.; A. G. Nathorst, *Contribution to the Carboniferous Flora of North-Eastern Greenland* (Meddelelser om Grönland, XLIII, 1911, p. 337-346, 4 fig. dont 1 carte, et pl. XV, XVI).]

[4. Voir la carte à 1 : 8 000 000 de G. de Geer, intitulée : *Das skandische Senkungsgebiet mit Randerhebungszentren*, et jointe à son mémoire : *Kontinentale Niveauveränderungen im Norden Europas* (Congr. Géol. Internat., Compte rendu de la XIe Session, Stockholm, 1910, fasc. II, p. 849-860; reprod. Petermanns Mitteil., LVIII, 1912 (II), p. 121-125, pl. 16).]

[5. Sur la structure de l'Islande, voir III, 2e partie, p. 950-956; voir aussi l'exposé critique de H. Reck, *Die Geologie Islands in ihrer Bedeutung für Fragen der allgemeinen Geologie. Eine Übersicht über den Inhalt der wichtigsten Literatur der letzten Jahrzehnts* (Geol. Rundschau, II, 1911, p. 302-314; renferme une bibliographie de 65 art.); W. von Knebel, *Island, eine naturwissenschaftliche Studie*. Hersg. von H. Reck. In-8°, v-290 p., 30 fig., 28 pl. et 1 carte, Stuttgart, 1912; F. v. Wolff, *Der Vulkanismus*, I. Band : Allgemeiner Teil. In-8°, Stuttgart, 1914, p 410-420 et 445-452.]

même les Hébrides occidentales et quelques-uns des promontoires de l'Ouest de l'Écosse. Partout où affleurent les couches cambriennes, elles sont horizontales. Des plissements plus récents manquent complètement, sauf le long du Mackenzie, sur la rive droite duquel l'avant-pays (Dévonien et Crétacé moyen, lisière occidentale extrême du Bouclier Canadien) est débordé par les plissements des Montagnes Rocheuses et disposé en coulisses allongées [1].

Toute la série mésozoïque marine manque jusqu'à la transgression du terrain crétacé moyen et supérieur. Les formations marines tertiaires sont limitées au voisinage de l'Océan Atlantique.

Vers le Sud, il convient de rattacher à la Laurentia les plateaux du Colorado, ainsi qu'un petit massif situé dans le comté de Burnet, en amont d'Austin, dans le Texas [2].

2. Les *Calédonides*, chaîne plissée anté-dévonienne, se dirigeant S.S.W., que l'on doit provisoirement considérer comme la limite orientale de la Laurentia. Ses traces sont peut-être déjà visibles dans le Nord du Spitzberg. Elle comprend l'Ouest de la Péninsule Scandinave [3], puis les Iles Shetland et Orcades, l'Écosse, presque tout le Pays de Galles et une partie très notable de l'Irlande. Elle est située entre les gneiss probablement laurentiens des Hébrides occidentales, à l'Ouest, et le Bouclier Baltique, à l'Est; d'après les données existantes, ses plis sont renversés et charriés à l'Est vers l'E. et à l'Ouest vers l'W. [4]. Ils forment une zone homogène, mais non une chaîne de montagnes continue.

3. L'*Édifice Asiatique* (ou Eurasiatique). Les limites de ce vaste ensemble, qui embrasse toute la largeur du Globe, sont indiquées par de nombreux arcs de plissement ; des rameaux libres s'avancent au delà de ces arcs. L'on doit attribuer à cet édifice, dans le Nord et

[1. Voir III, 3e partie, p. 1166-1169.]

[2. Sur les plateaux du Colorado, voir III, 3e partie, p. 1138-1142 et 1228-1232; sur le massif de Burnet, voir III, 2e partie, p. 647-650, et 3e partie, p. 1288, note 1.]

[3. Sur la structure de la Péninsule Scandinave et les grands charriages qui en caractérisent la région Nord-Ouest, voir II, p. 63-96, et III, 1re partie, p. 514-528, pl. II. Consulter en outre l'excellent exposé de A. G. Högbom, *Fennoskandia* (*Norwegen, Schweden, Finnland*). (*Handbuch der Regionalen Geologie*, herausgegeben von G. Steinmann und O. Wilckens, 13. Heft, Band IV, 3. Liefg.). In-8°, 197 p., 56 fig., 1 pl. carte. Heidelberg, 1913 (renferme une liste bibliographique de 273 art.).]

[4. Les plus récentes études entreprises sur la stratigraphie des terrains métamorphiques de l'Écosse ont mis nettement en évidence le rôle des renversements et des plis couchés vers l'Ouest; voir, en particulier, E. B. Bailey, *Recumbent Folds in the Schists of the Scottish Highlands* (Quart. Journ. Geol. Soc. London, LXVI, 1910, p. 586-620, pl. XLII-XLIV, dont 1 carte géol.); et *The Geology of the Neighbourhood of Fort William* (Proc. Geologists' Assoc., XXII, 1911, p. 179-203, fig. 12-16, et pl. XXIV-XXVIII); E. B. Bailey and M. Macgregor, *The Glen Orchy Anticline, Argyllshire* (Quart. Journ. Geol. Soc., LXVIII, 1912, p. 164-179, pl. X : carte géol.); E. B. Bailey, *The Loch Awe Syncline, Argyllshire* (Ibid., LXIX, 1913, p. 280-307, pl. XXXI, XXXII, dont 1 carte).]

dans l'Ouest de l'Amérique Septentrionale : la Chaîne des États-Unis [1], les Montagnes Rocheuses, la Chaîne du Saint-Élie et les Alaskides [2]. Presque toute l'Asie lui appartient, ainsi que les guirlandes insulaires orientales jusqu'aux Iles Bonin et jusqu'aux avant-fosses des Iles Palaos et Talaoet, l'arc Birman [3], et toutes les chaînes de montagnes si nettement délimitées vers le Sud qui s'étendent de l'embouchure du Gange jusqu'à l'extrémité occidentale du Haut-Atlas. Toute l'Europe doit lui être également attribuée, à la seule exception près des Calédonides et de la partie probablement laurentienne du Nord-Ouest de l'Écosse. Une longue branche libre empiète sur l'Océan Atlantique, pour y former ensuite Terre-Neuve et les Appalaches [4]. Elle meurt au Texas et dans l'Oklahoma [5]. C'est ainsi que la Laurentia est entourée par les plis asiatiques. Cet énorme système de plis enveloppe de ses arcs nombreux, dans le Nord-Est de la Sibérie et notamment dans la haute vallée de l'Anabar et sur l'Olenek, puis sur les affluents de droite de la Khatanga, un massif de gneiss sur lequel s'étale une couverture cambrienne horizontale, et qui, par conséquent, n'a pas pris part à ces plissements [6]. Ce massif s'étend vers l'Est jusqu'à la Léna, à l'Ouest jusqu'au Iénisséi, et au Sud jusque dans l'amphithéâtre d'Irkoutsk. Il se prolonge sans doute sous les alluvions récentes de la Sibérie Occidentale. Nous l'appelons *Continent de l'Angara* [7].

On voit d'ailleurs apparaître de grandes régions non plissées au milieu des plis asiatiques, par exemple dans le Nord de la Chine, au Cambodge et à Bornéo. La Plate-forme Russe et le Bouclier Baltique représentent des cas du même genre.

En Europe, les rameaux anté-permiens de cet édifice, les Altaïdes Occidentales, présentent la particularité de s'affaisser sur de grandes distances, et dans l'intérieur du cadre ainsi constitué, elles font place à

[1. Voir III, 2e partie, p. 927-931.]

[2. III, 3e partie, p. 1066-1206.]

[3. III, 3e partie, p. 1011-1019.]

[4. Sur Terre-Neuve et les plis des Appalaches, voir I, p. 738-748; II, p. 47-52; III, 2e partie, p. 617-640. — Tout dernièrement, P. Termier a fait ressortir que les plis de Terre-Neuve et des Provinces Maritimes du Canada sont plus anciens que ceux des Appalaches et datent du Dévonien moyen; ils représenteraient, par conséquent, « une chaîne *calédonienne tardive*, un rameau de la grande chaîne du Nord de l'Écosse constitué un peu plus tard que le rameau écossais. Les mouvements qui l'ont affectée à diverses reprises, au Carbonifère, au Permien, peut-être encore au début du Trias, sont de très petits mouvements, qui ne méritent pas d'être appelés autrement que *mouvements posthumes*. Dans les États-Unis, ces mouvements sont peu à peu devenus plus intenses et ont réédifié une vraie chaîne, un vrai chaînon d'*Altaïdes américaines*, dans l'exact prolongement des *Calédonides canadiennes*. » (P. Termier, *L'Excursion A1 du XIIe Congrès Géologique International : la région appalachienne du Canada*; C. R. Acad. Sc., CLVII, 1913, 2e sem., p. 621-626).]

[5. Voir III, 2e partie, p. 651-660.]

[6. III, 3e partie, p. 1068-1070 et 1083.]

[7. III, 1re partie, p. 27.]

des chaînes posthumes. Ce sont : a) les Alpides (des Balkans jusqu'aux Baléares)[1]; b) les plis Provençaux et les Pyrénées[2]; c) les plis du Bassin de Paris et de Londres[3]; d) quelques petits accidents dans l'Ouest du Portugal[4].

Les Calédonides, qui viennent s'intercaler entre des restes probablement laurentiens et la partie occidentale de l'Édifice Asiatique, ont pris naissance, comme on l'a vu, avant la période dévonienne[5]. Par suite, dès cette époque lointaine, les deux plus grandes unités de l'hémisphère Nord, la Laurentia et le Continent de l'Angara, étaient déjà soudées l'une à l'autre. De fait, le Continent dévonien de l'*Eria* empiète sur l'une et sur l'autre.

La *Téthys* se poursuit à travers tout le Sud de l'Édifice Asiatique.

4. Un fragment autonome assez étrange, très ancien, correspond au *Massif Bohémien*, qui occupe le Sud de la Bohême et une partie de la Bavière, de la Haute- et de la Basse-Autriche et de la Moravie[6].

5. *Continent de Gondwana*. On doit lui attribuer : l'Amérique du Sud, des Andes à la côte orientale entre l'Orénoque et le Cap Corrientes, les Iles Malouines ou Falkland[7], l'Afrique, des contreforts méridionaux du Haut-Atlas jusqu'aux Montagnes du Cap[8], puis la Syrie, l'Arabie[9],

[1. Voir III, 2e partie, p. 837-894.]

[2. III, 2e partie, p. 894-926.]

[3. III, 2e partie, p. 609-617.]

[4. III, 2e partie, p. 536-539.]

[5. Sur l'âge des plis calédoniens en Scandinavie, consulter : J. Kiaer, *A new Downtonian fauna in the Sandstone Series of the Kristiania Area* (Videnskapsselskapets Skrifter, I, Mat.-naturv. Kl., 1911, n° 7, 22 p.); V. M. Goldschmidt, *Geologisch-petrographische Studien im Hochgebirge des südlichen Norwegen*, II. *Die kaledonische Deformation der südnorwegischen Urgebirgstafel* (Ibid., 1912, n° 19; 11 p., 1 carte dans le texte); le même, *Das Devongebiet am Röragen bei Röros*, mit einem paläobotanischen Beitrag : *Die Pflanzenreste der Röragenablagerung*, von A. G. Nathorst (Ibid , 1913, n° 9; 27 p., 5 pl. et 2 cartes géol. en couleurs : Dévonien moyen discordant sur les plis calédoniens).]

[6. Sur la structure du Massif Bohémien, voir le tome III du présent ouvrage, 2e partie, pl. IV, p. 578. Consulter, en outre, le mémoire de Franz E. Suess : *Die moravischen Fenster und ihre Beziehung zum Grundgebirge des hohen Gesenkes* (Denkschr. k. Akad. Wiss. Wien, mathem.-naturwiss. Kl., LXXXVIII, 1912, p. 541-631, 3 pl. cartes géol.). Ce travail fait ressortir l'importance inattendue des charriages d'âge post-dévonien vers le S.E., dans la partie orientale du Massif Bohémien; le phénomène (*Moldanubische Ueberschiebung*) a été reconnu sur une largeur de 40 à 50 kilom. au moins, et sur plus de 250 kilom. de longueur; voir une analyse de ce mémoire, par P. Termier, C. R. Acad. Sc., Paris, CLVI, 1913, 1er sem., p. 419-421.]

[7. Voir III, 3e partie, p. 1345-1346 et fig. 306.]

[8. Consulter l'exposé d'ensemble de F. E. Studt, *The Geology of Katanga and Northern Rhodesia*; *An Outline of the Geology of South Central Africa* (Trans. Geol. Soc. of South Africa, Johannesburg, XVI, 1913, p. 44-106, pl. V-XV, dont 1 carte géologique et tectonique de l'Afrique Équatoriale et Australe à 1 : 11 111 000, 1 carte géologique du Katanga et régions voisines et 1 pl. de coupes; renferme, p. 98-102, une liste bibliographique classée par régions).]

[9. Sur la géologie de l'Arabie, consulter : C. Diener, *Note on some Fossils from Sedi-*

Madagascar[1], la presqu'île de l'Inde et Ceylan. De même que dans la Laurentia, on n'y voit aucune trace de plissements récents, sauf le long de l'extrême bord occidental. De même que, sur le Mackenzie, les plissements des Montagnes Rocheuses empiètent, en partant de l'Ouest, sur la série des couches de l'avant-pays laurentien, qui, ailleurs, n'ont pas été dérangées, de même, les plissements des Andes affectent à l'Est les terrains de la Bolivie et de l'Argentine[2], terrains appartenant au Continent de Gondwana, qui est demeuré rigide dans le reste de son étendue.

Comme dans la Laurentia, la série mésozoïque marine manque ici presque complètement, jusqu'à la transgression du Crétacé moyen. Cette dernière recouvre de ses plateaux horizontaux de grandes parties du Sahara, de la Syrie et de l'Arabie[3], et donne ainsi au Nord du Continent de Gondwana un aspect physique différent de celui du Sud.

Une zone de plis dirigée vers le S. ou vers le S.S.W., les *Saharides*, se poursuit avec une largeur notable du Tidikelt jusqu'au Sud du Dahomey, c'est-à-dire sur 19 à 20 degrés de latitude, en plein milieu du Sahara[4]. Elle est plus ancienne que le Silurien supérieur, dont les couches transgressives la recouvrent horizontalement, et par conséquent antérieure aux Calédonides. Néanmoins, on peut se demander si elle ne représente pas également une limite tectonique très ancienne, comparable aux Calédonides. L'on ne doit pas oublier, d'ailleurs, que dans la région-type des Calédonides, c'est-à-dire dans le Nord-Ouest de l'Écosse, il existe une lacune stratigraphique importante entre les couches cambriennes plissées et le Dévonien non plissé, de telle sorte que l'âge plus ancien des Saharides ne peut être déduit que de l'étude d'autres régions. L'Afrique est recoupée par de longues crevasses, qui sont jalonnées par des volcans actifs[5]. L'alignement du Cameroun s'oriente à peu

mentary Rocks of Oman, Arabia (Records Geol. Survey of India, XXXVI, 1908, p. 156-163, pl. 24 : Productus, Myophories, etc.); R. B. Newton and G. C. Crick, *On some Jurassic Mollusca from Arabia* (Annals and Mag. of Nat. Hist., 8th ser., II, 1908, p. 1-29, pl. I-III; bibl.); Capt. R. E. Lloyd, *The Geology of the Aden Hinterland* (Records Geol. Survey of India, XXXVIII, 1910, p. 313-320, pl. 30-33, dont 1 carte); E. W. Vredenburg, *Petrological Notes on the Rocks collected by Capt. R. E. Lloyd near Aden* (Ibid., p. 321-335, pl. 34); G. H. Tipper, *Notes on Upper Jurassic Fossils collected by Capt. R. E. Lloyd near Aden* (Ibid., p. 336-341, pl. 35-36); H. Douvillé et Couyat-Barthoux, *Le massif de Moghara, à l'est de l'isthme de Suez* (C. R. Acad Sc., CXLIX, 1914, 2e sem., p. 565-570 : découverte de nombreux niveaux jurassiques et infracrétacés).

[1. Voir III, 3e partie, p. 989-993 et fig. 225.]

[2. III, 3e partie, p. 1306-1314.]

[3. I, p. 454-491.]

[4. Voir III, 2e partie, p. 676-682. L'extension des quartzites « siluriens », dont les bandes parallèles, orientées N. E.-S. W., trahissent l'influence des mêmes plissements, a été reconnue beaucoup plus à l'Est, entre 13° et 16° de lat. N., jusqu'aux environs d'Abecher; Capitaine Ed. Arnaud, *Aperçu géographique et géologique de la région ouaddaïenne* (La Géographie, XXVII, 1913, 1er sem., p. 33-40, fig. 35 : carte géol.).]

[5. I, p. 535-546; III, 3e partie, p. 957-994.]

près N.E.; les alignements de l'Est affectent une direction méridienne ou subméridienne, l'un d'entre eux se prolonge par la Mer Rouge et la Mer Morte jusqu'à une grande distance vers le Nord [1].

6. Les *Montagnes du Cap* consistent en trois fragments, entourant de trois côtés le Karroo, qui leur sert d'avant-pays. Dans l'Ouest ce sont les Cedarbergen, dans le Sud les Zwartebergen; à l'Est, les Monts Pondo ne renferment que des restes peu connus et d'ailleurs peu étendus. Les Montagnes du Cap représentent un grand système de plis, aujourd'hui submergé sous les eaux de l'Atlantique Austral et de l'Océan Indien, et qui rappelle par plusieurs de ses caractères l'Édifice Asiatique [2].

7. L'*Australie* et les *Océanides*. L'hypothèse qui s'accorde le mieux avec l'état actuel de nos connaissances sur les îles du Pacifique, encore très défectueuses, du reste, c'est que l'Australie pourrait bien jouer un rôle comparable, dans une certaine mesure, à celui du Nord-Est du Continent de Gondwana : cette terre n'est, en effet, plissée que sur son bord oriental et supporte d'ailleurs quelques transgressions mésozoïques isolées. S'il en est ainsi, l'Australie serait entourée vers le Nord et vers l'Est par des arcs plissés s'étendant jusqu'aux Carolines, jusqu'à Raroia et probablement jusqu'aux Iles Hawaii. Ces arcs s'intercaleraient peut-être dans l'ensemble des Soemba, Rotti et Timor, et ils indiqueraient en même temps la séparation de l'Édifice Asiatique [3].

Il n'est pas absolument improbable que, dans la Presqu'île de Berau, en Nouvelle-Guinée, et dans quelques-unes des Iles de la Sonde, une bande étroite, plus ancienne, ne surgisse entre les plis asiatiques et les plis océaniens. Les arcs de l'Océanie représentent en grande partie, sans doute, des chaînes de plissement récentes; mais on ne peut dire avec certitude si Yap et Viti Levu rentrent dans cette catégorie ou s'il faut y voir, au contraire, des formations antérieures [4].

8. L'*Édifice Andin* émerge de l'Océan, sur la côte occidentale de l'Amérique, entre 42° et 41° de lat. N., suit cette ligne de rivage et atteint en la dépassant au moins le 68e degré de lat. S. Ses plis empiètent, comme on l'a vu, sur la partie occidentale du Continent de Gondwana et ils s'avancent, au Nord et au Sud de cette terre, jusqu'à une grande distance dans le domaine atlantique. C'est ainsi que se forment les Antilles Septentrionales [5] et les Antilles Australes [6].

Un terme de transition, la *Chaîne Intermédiaire*, caractérisée par

[1. Voir I, p. 470-480; II, p. 724-729; III, 3e partie, p. 977-986.]
[2. III, 3e partie, p. 994-1001.]
[3. III, 3e partie, chap. XVIII, p. 1002-1065.]
[4. III, 3e partie, p. 1018 et 1046-1049.]
[5. III, 3e partie, p. 1285-1299.]
[6. III, 3e partie, p. 1344-1357.]

une plus grande diversité de sédiments mésozoïques, par des plis et des fosses allongées et par la présence de volcans récents, surgit au Nord dans une dépression bordée de failles linéaires, au voisinage du groupe volcanique des Monts Wrangell[1]; au Sud des Alaskides, cette chaîne se poursuit sur une largeur notable à travers le Canada Occidental, et forme, au long des chaînons les plus septentrionaux des Andes, les Basin Ranges, en partie privées d'écoulement vers la mer[2]; peut-être interrompue dans l'Ouest de l'Arizona, elle reparaît au Mexique et atteint avec une grande largeur le littoral atlantique. Les Cordillères qui, au Mexique, représentent la Chaîne Intermédiaire ne peuvent guère être séparées tectoniquement de la Sierra Madre del Sur, la chaîne maîtresse de l'Édifice Andin[3].

Dans l'Amérique du Sud, la Cordillère des Andes elle-même prend, dans les parties de la Bolivie et de l'Argentine où elle est le mieux connue, les caractères de la Chaîne Intermédiaire. Là aussi règnent des formations mésozoïques marines, des volcans récents et des cassures linéaires.

La Terre de Graham est une répétition de la Patagonie et doit être attribuée à l'Édifice Andin[4].

9. L'*Antarctide*, c'est-à-dire la Terre de Victoria et la Terre de Wilkes jusqu'au Mont Gauss et, d'autre part, la Terre de Coats, qui doivent être les prolongements de la Terre de Victoria. Les volcans de cette région (alignement du Mont Terror) pourraient être comparés aux alignements volcaniques africains[5].

Un coup d'œil sur ces neuf unités, de valeur inégale, montre que c'est seulement dans le domaine Pacifique que les contours des continents et des îles donnent quelques indications sur l'allure des lignes directrices. Si l'on pouvait considérer le domaine Atlantique à l'époque permienne, par exemple, on y verrait apparaître une chaîne de montagnes recoupant l'océan actuel, de l'Armorique à Terre-Neuve. Au Nord de cette chaîne existerait peut-être encore l'avant-pays Érien[6].

[1. Voir II, 3e partie, p. 1172-1179.]

[2. III, 3e partie, p. 1188-1206.]

[3. III, 3e partie, p. 1256-1263.]

[4. III, 3e partie, p. 1345 et 1352-1354.]

[5. III, 3e partie, p. 1002-1011. Voir aussi le résumé de O. Nordenskjöld, *Antarktis* (*Handbuch der Regionalen Geologie*, herausgegeben von G. Steinmann und O. Wilckens, 15. Heft, Band VII, 6. Liefg.). In-8°, 29 p., 1 pl. carte, 6 fig. dont 4 cartes. Heidelberg, 1913 (renferme une bibliographie).]

[6. Pour des essais de reconstitution de la paléogéographie carboniférienne ou permienne, voir A. de Lapparent, *Traité de Géologie*, 5e éd. In-8°, Paris, 1906, II, p. 891 (fig. 372), 921 (fig. 381) et 951 (fig. 397); E. Koken, *Indisches Perm und die permische Eiszeit* (Neues Jahrb. f. Min., Festband zur Feier des 100jährigen Bestehens, 1907, p. 446-546, pl. XIX : planisphère); Em. Haug, *Traité de Géologie*, II, fasc. 1. In-8°, Paris, 1908, p. 817 (fig. 272). Voir aussi la petite carte jointe à l'article de Th. Arldt, *Paläogeographische Fragen* (Geol. Rundschau, III, 1912, p. 93-111, pl. III). — Voir, en outre, l'article de P. Termier, cité plus haut, p. 1364, note 4.]

L'Europe elle-même, et en particulier la Péninsule Ibérique, s'étendrait davantage vers l'Ouest, et peut-être les Montagnes du Cap déborderaient-elles largement sur l'espace occupé aujourd'hui par l'Océan. Tout cela a disparu. En aucun point des côtes atlantiques ou indiennes (sauf dans les Antilles), on n'aperçoit de traces d'activité orogénique. Ces traces sont au contraire très répandues dans l'Océan Pacifique. *Là est la différence profonde qui sépare la partie atlantique et la partie pacifique de la Terre.*

Parmi ces neuf unités, deux, la Laurentia et le Continent de Gondwana, sont bien connues; elles se rapprochent l'une de l'autre par un grand nombre de traits communs, et on peut y reconnaître des parties du globe consolidées de bonne heure, grâce à l'absence de tout plissement post-cambrien (sauf l'exception des Saharides et des plissements récents qui empiètent sur la région du Mackenzie, la Bolivie et l'Argentine). Il est probable que l'Antarctide joue un rôle analogue. Il y aurait donc dans l'hémisphère atlantique trois régions de consolidation ancienne : une région boréale, une région équatoriale et une région australe.

Les Calédonides, les Montagnes du Cap et l'Édifice Andin sont des segments de plis d'âge différent.

L'Édifice Asiatique est un système de plis qui ont été, à maintes reprises, gênés dans leur développement par les avant-pays rigides correspondant à la Laurentia et au Continent de Gondwana. En outre, cet ensemble englobe lui-même un plateau précambrien, le Continent de l'Angara. Il est probable que l'Australie joue le même rôle par rapport aux Océanides. Mais là, comme on l'a vu, les documents font défaut, notamment en ce qui concerne la chaîne principale, en Nouvelle-Guinée. Pour ces motifs, les questions relatives aux rapports entre les chaînes plissées et les massifs devenus depuis longtemps rigides sont liées tout d'abord au vaste Édifice Asiatique.

Enchaînement et rebroussement (fig. 310, 311). — La disposition des chaînes de montagnes en arc de cercle, disposition qui se reproduit si souvent dans l'Édifice Asiatique, est le trait le plus frappant de sa structure. Quand ces arcs viennent à se rencontrer, ils se comportent les uns vis-à-vis des autres de deux manières différentes : tantôt ils dessinent un rebroussement, et tantôt l'un des arcs croise la direction de l'autre. Nous avons désigné ce second cas sous le nom de « recoupement » (*Durchschneidung*; voir III, 1re partie, p. 498); Richthofen s'est servi du mot « enchaînement » (*Kettung*), dont il sera fait également usage ici.

Ferdinand de Richthofen considérait l'enchaînement (par opposition

au rebroussement) comme un trait caractéristique de l'Asie Orientale, et il a étudié cette question, dans une série de mémoires[1], avec sa maîtrise ordinaire. On sait aujourd'hui que tous les enchaînements n'ont pas la même signification, et qu'il existe aussi bien des enchaînements que des rebroussements dans les guirlandes insulaires. Le Kamtchatka et les Kouriles sont disposés en s'enchaînant à angle droit sur l'orientation des Alaskides, Hokkaido en s'enchaînant à angle droit sur les Kouriles[2], etc., tandis que les Alaskides dessinent vers l'Est un rebroussement[3], etc.

Il s'agit maintenant de distinguer divers modes d'enchaînement et d'examiner pourquoi l'on voit se produire là un enchaînement, et ailleurs un rebroussement.

Les *Carpathes* croisent la direction des Sudètes et des Montagnes de Sandomir. Ces deux dernières chaînes sont plus anciennes et il n'y a aucun doute qu'elles s'abaissent sous l'arc Carpathique[4]. Il y a là enchaînement par débordement. L'extrémité occidentale de l'*Himalaya* se relie par un rebroussement aux plis Iraniens[5], tandis qu'à l'Est, la direction Birmane croise celle de l'Himalaya; là encore, sur le Brahmaputra, se produit un enchaînement, mais la situation est différente de ce qu'elle est pour les Carpathes. Si l'on qualifie de *dominante* la chaîne qui conserve sa direction, dans le premier cas (Carpathes), la dominante est la chaîne la plus jeune, et dans le second c'est la plus ancienne. Là s'introduit un élément étranger, le massif, en forme de coin, de l'Assam[6]. Maclaren dit que, par 95° 45′ de long. E. environ,

1. F. von Richthofen, *Über Gestalt und Gliederung einer Grundlinie in der Morphologie Ost-Asiens* (Sitzungsber. K. Preuss. Akad. Wiss. Berlin, 1900, II, p. 888-925); *Geomorphologische Studien aus Ostasien. II. Gestalt und Gliederung der ostasiatischen Küstenbogen* (Ibid., 1901, p. 782-808); III. *Die morphologische Stellung von Formosa und den Riukiu-Inseln* (Ibid., 1902, p. 944-975, pl. III : carte); IV. *Über Gebirgskettungen in Ostasien, mit Ausschluss von Japan*, et V. *Gebirgskettungen im japanischen Bogen* (Ibid., 1903, p. 867-918, 2 fig., dont 1 carte tectonique du Japon).

[2. Voir III, 1re partie, p. 181 (fig. 17) et 497 (fig. 83).]

[3. III, 3e partie, p. 1117, fig. 249.]

[4. I, p. 238-248; II, p. 171, 172.]

[5. Sur la continuité des zones tectoniques de part et d'autre du rebroussement du Jhelam, voir C. S. Middlemiss, *Sections in the Pir Panjal Range and Sind Valley, Kashmir* (Records Geol. Survey of India, XLI, 1911, p. 115-144, pl. 9-12, dont 1 carte géol. et 1 pl. de coupes); ce travail met en évidence la complexité de structure des chaînons externes de l'Himalaya, dans la région de Cachemire. Pour la stratigraphie du même territoire, où s'opère le passage du faciès continental de la Presqu'île Hindoue au régime marin qui caractérise les hautes chaînes du Nord, consulter C. S. Middlemiss, *Gondwanas and related Marine Sedimentary Systems of Kashmir* (Ibid., XXXVII, 1909, p. 286-327, pl. 26-34 : phot., coupes et carte); et *A Review of the Silurian-Trias Sequence in Kashmir* (Ibid., XL, 1910, p. 206-260, pl. 28-39, dont 1 carte géol.). — Sur la structure de l'aile occidentale (Hindou-Kouch), voir les récents mémoires de H. H. Hayden, *The Geology of Northern Afghanistan* (Mem. Geol. Survey of India, XXXIX, pt. 1, 1911, 97 p., 12 fig., 20 pl. dont 1 carte géol.; bibliogr.); et *Notes on the Geology of Chitral, Gilgit and the Pamirs* (Records Geol. Survey of India, XLV, 1915, p. 271-335, pl. 27-32, dont 1 carte géol.).]

[6. Voir I, p. 522, 523, 594.]

l'Himalaya rencontre les Chaînes de Miju orientées S.S.E., chaînes qui sont plus anciennes et qui appartiennent à l'arc Birman. Encore près de Tezpur, vers 92° 45′ de long E., on voit des roches cristallines affleurer au fond de la vallée du Brahmapoutra, entre l'Himalaya au Nord-Ouest et les Monts Patkoi au Sud-Est. Ces deux chaînes, Himalaya et Patkoi, sont accompagnées d'un liséré de couches gondwaniennes et tertiaires renversées vers le Brahmapoutra[1] (fig. 309). Les Chaînes de Miju, qui sont les plus anciennes, ont été édifiées les premières; c'est pourquoi

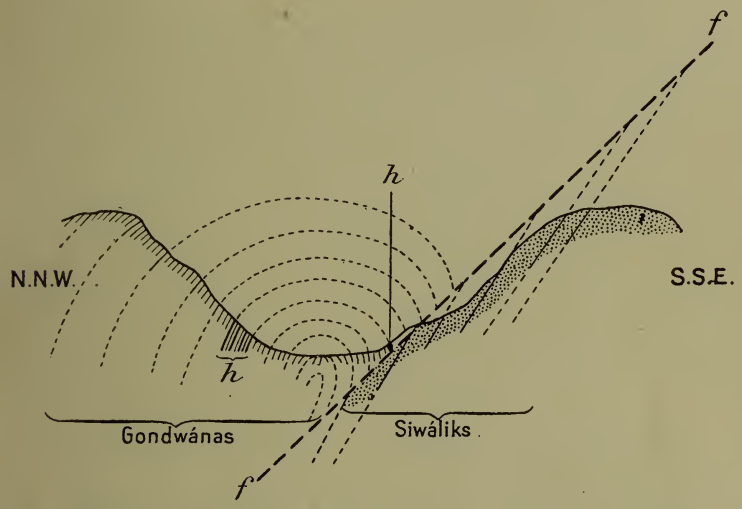


Fig. 309. — Jonction des couches de Gondwana et des couches de Siwalik au pied de l'Himalaya (Kalapani, Bhoutan), d'après G. E. Pilgrim (*Records Geol. Survey of India*, XXXIV, 1906, pl. 6, fig. 2).

hh. Veines de houille (Gondwana); *ff*. Faille inverse. — Échelle de 1 : 6 000 (longueurs et hauteurs).

l'Himalaya se termine à leur rencontre. L'avancée en direction des Monts Patkoi indique probablement une poussée subséquente des plis Birmans. Sans doute, les mouvements ont continué pendant longtemps, de part et d'autre, comme l'atteste le renversement des couches des Siwaliks; mais l'on peut affirmer provisoirement que les Monts Miju ont surgi les premiers.

Les revêtements d'asphalte de nos rues montrent fréquemment des fentes d'un genre particulier, disposées en arcs successifs. Si les pierres de bordure viennent à s'affaisser, ces arcs s'ouvrent en leur faisant

1. J. M. Maclaren, *The Geology of Upper Assam* (Records Geol. Survey of India, XXXI, 1904, p. 179-204, pl. 28 : carte géol.). Voir aussi T. H. Holland, Ibid., XXXII, 1905, p. 150. [Sur la géologie de l'Assam et des régions voisines, voir aussi : H. H. Hayden, *Some Coal-Fields in North-Eastern Assam* (Ibid., XL, 1910, p. 283-319, pl. 44-49, dont 1 carte géol.); J. Coggin Brown, *A Geological Reconnaissance through the Dihong Valley, being the Geological Results of the Abor Expedition, 1911-12* (Ibid., XLII, 1912, p. 231-253, pl. 27 : carte géol.); E. H. Pascoe, *A Traverse across the Naga Hills of Assam from Dimapur to the Neighbourbood of Sarameti Peak* (Ibid., XLII, 1912, p. 254-264, pl. 28-32, dont 1 carte géol.).]

face (fig. 310); si c'est le milieu qui s'abaisse, tandis que les bords conservent leur niveau primitif, l'ouverture se tourne vers l'axe de la chaussée (fig. 311). Dans les deux cas, les tensions provoquées par l'affaissement déterminent des arcs dont les dimensions sont souvent à peu près constantes. La fente naît au centre ou dans son voisinage (*g*, fig. 310), et se prolonge ensuite de part et d'autre. Si elle arrive

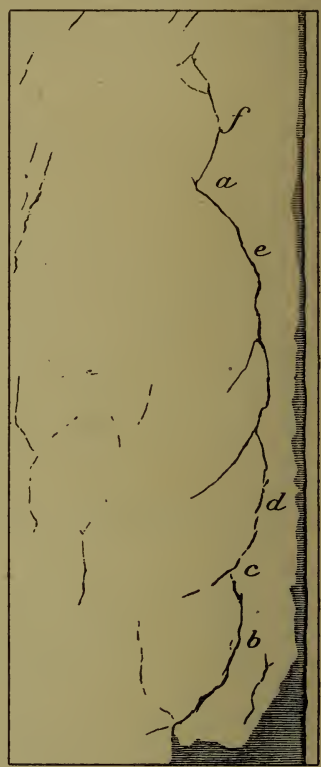


Fig. 310 et 311. — Fentes dans l'asphalte, d'après des photographies publiées dans l'édition allemande (t. III, 2e partie, pl. XX).

en même temps qu'une fente voisine au point *a* de la figure 311, par exemple, on voit apparaître la ligne directrice d'un rebroussement; reste-t-elle en retard, ou son point de départ cesse-t-il de coïncider avec le centre (*b*), il se produit un enchaînement (*c*). Si la figure 311 était une carte géographique, on pourrait dire qu'au Nord il y existe un rebroussement, et plus au Sud des enchaînements, et que c'est l'arc septentrional qui, chaque fois, joue le rôle de dominante.

Si l'on examine après un certain temps le même point de l'asphalte, on constate parfois que la continuation de l'effort s'est fait sentir d'une façon uniforme sur toute la ligne brisée *f a e*, et que les prolon-

gements très fins qui auraient pu apparaître dans la partie *a* n'ont pas été affectés par les progrès de cette déchirure. En outre, il se forme souvent, à l'intérieur des arcs, des cassures secondaires. En fin de compte, le revêtement d'asphalte, par suite de ses déchirures, est mis hors d'usage.

Trois éléments curvilignes et concentriques se présentent dans les arcs insulaires asiatiques : les avant-fosses, les chaînes plissées (Cordillères) et les lignes volcaniques. Ces dernières se prêtent tout d'abord à une comparaison.

Une cassure ou une faille en forme de crochet accompagne la courbure similaire que décrit la direction des couches dans le rebroussement de Karroo Poort (III, 3me partie, p. 998). Un rejet analogue, dans les Aléoutiennes, est devenu, par la continuation des efforts, le fossé du Cook Inlet; le fossé s'infléchit avec le rebroussement, et près du point où se produit la courbure (*a*, fig. 311) se trouve le groupe des volcans de Wrangell[1]. Mais d'autres segments d'arcs deviennent par le même mécanisme des fossés : tel est le cas pour l'alignement Foujiyama-Bonin dans la *fossa magna*[2]; et, de même, on voit naître des fossés suivant la direction du grand alignement volcanique qui, partant du Ho-Shué-Chan, suit sur 31 degrés de latitude, jusqu'au delà des volcans javanais, la ligne directrice de l'arc Birman[3].

Mais les arcs volcaniques jalonnent bien réellement des cassures; cela ressort, d'ailleurs, du fait qu'ils arrivent à pénétrer dans les arcs d'une Cordillère étrangère. C'est ainsi que l'arc des Kouriles croise la Cordillère de Hidaka dans l'Ile de Hokkaido; et tandis que nous avions admis, dans le présent ouvrage (III, 1re partie, p. 181, fig. 17), que le croisement ne dépasse pas le volcan Optateshiké, la carte du Service

[1. Voir III, 3e partie, p. 1121-1130 et 1172-1177.]

[2. II, p. 290-295; III, 1re partie, p. 187; 3e partie, p. 1013-1014.]

[3. W. Volz, *Zur Geologie von Sumatra* (Geol. und Paläontol. Abhandl. hersg. von E. Koken, X, Neue Folge, VI, 1904, p. 87-196, pl. I-XII, dont 1 carte géol.); voir aussi, du même : *Vorläufiger Bericht über eine Forschungsreise zur Untersuchung des Gebirgsbaues und der Vulkane von Sumatra in den Jahren 1904-1906* (Sitzungsber. K. Preuss. Akad. Wiss. Berlin, 1907, I, p. 27-140). [Consulter, en outre, le mémoire du même auteur : *Die geomorphologische Stellung Sumatras* (Geogr. Zeitschr., XV, 1909, p. 1-12, pl. 1-2, dont 1 carte géol., croquis tectonique dans le t.), et son grand ouvrage : *Nord-Sumatra. Bericht über eine im Auftrage der Humboldt-Stiftung der Königlich Preussischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin in den Jahren 1904-1906 ausgeführte Forschungsreise.* 2 vol. in-8°, 239 fig., 23 pl. et 5 cartes, Berlin, 1909-1912). Voir aussi W. Volz, *Der Malaiische Archipel, sein Bau und sein Zusammenhang mit Asien* (Sitzungsber. phys.-medizin. Sozietät in Erlangen, XLIV, 1912, p. 178-204, 2 cartes); et *Süd-China und Nord-Sumatra. Zur Charakteristik des Zerrungs-Phänomen in Südostasien* (Mitteil. des Ferdinand von Richthofen-Tages 1913. In-8°, Berlin, 1914, p. 27-54, 11 fig.). — Pour l'étude de quelques volcans éteints situés au N.E. du Ho-Shué-Chan, en territoire chinois (35° lat. N., 96° 30' long. E. environ), voir : *Contributions to the Geology of the Province of Yünnan in Western China. I. The Bhamo-Téng-Yüch Area*, by J. Coggin Brown (Records Geol. Survey of India, XLIII, 1913, p. 173-205, pl. 6-17, dont 2 cartes géol.); II. *Petrology of the Volcanic Rocks of the Téng-Yüch District*, by R. C. Burton (Ibid., p. 206-228, pl. 18-20).]

japonais le prolonge jusqu'à la côte Ouest de Hokkaido. Un second exemple est fourni par l'effondrement circulaire de la Baie de Kagoshima, avec le volcan Sakura, etc., qui indique la pénétration de la ligne des Riou-Kiou dans la Cordillère du Sud de Kiou-Siou[1]. Mais là, on signale également des plis transversaux tertiaires.

Les longues cassures ou failles qui morcellent la Corée, en dessinant une virgation s'ouvrant vers le Sud, forment la plus grande partie de la côte orientale et transforment le Sud en une côte à rias; ce sont peut-être des lignes disjonctives, appartenant à la guirlande des Riou-Kiou.

Nous pressentons aussi maintenant pourquoi, à Mindanao, les volcans suivent de préférence non pas les Cordillères, mais les lignes de dépression (III, 1re partie, p. 324).

Toutefois nous verrons bientôt que, malgré ces analogies, ce parallèle avec les fentes de l'asphalte demande quelques restrictions. Contentons-nous de retenir qu'un enchaînement se produit soit quand une chaîne ancienne est débordée (Sudètes), auquel cas la chaîne récente (Carpathes) devient la dominante, soit quand la chaîne parvenue la première au point de rencontre se maintient à l'état de dominante, disposition fréquemment réalisée dans les guirlandes insulaires de l'Asie. Les Aléoutiennes constituent un exemple dans lequel l'enchaînement avec la dominante (Kamtchatka) n'est pas encore un fait accompli.

Importance des avant-fosses. — Appuyons-nous sur ce qui a été dit plus haut (III, 3e partie, p. 1011-1019 et 1066). A l'exception d'une dépression dont la profondeur dépasse 7000 mètres, mais dont on ne connaît pas exactement les contours, vers le milieu de l'Océan Atlantique[2], dépression que l'on ne peut guère d'ailleurs qualifier d'avant-fosse, et à l'exception du long sillon qui borde certaines parties des côtes occidentales de l'Amérique[3], sillon sur la signification duquel il n'y a pas lieu de hasarder ici une conjecture, toutes les avant-fosses sont situées au voisinage du front des arcs asiatiques ou à l'intérieur des Océanides. Les avant-fosses des Antilles Septentrionales occupent une situation analogue à celle des avant-fosses asiatiques, et nous les attribuons, ainsi qu'on l'a vu, au domaine pacifique[4]. Par analogie, on peut supposer que l'on découvrira quelque jour, au large des Sandwich Australes, une avant-fosse semblable[5].

[1. Voir F. von Richthofen, *Die morphologische Stellung von Formosa und die Riukiu-Inseln* (Sitzungsber. k. Preuss. Akad. Wiss. Berlin, 1902, II, p. 975, pl. III; reprod. ci-après, fig. 320).]

[2. Sur cette cuvette, connue sous le nom de « fosse de la Romanche », voir le tome III du présent ouvrage, 3e partie, p. 1286.]

[3. Voir III, 3e partie, p. 1359.]

[4. III, 3e partie, p. 1285-1287.]

[5. III, 3e partie, p. 1355, fig. 308.]

Les dépressions que l'on observe dans une couverture d'asphalte se produisent à l'intérieur du bord concave des divers segments d'arcs. Lors de l'évacuation des sables boulants situés au-dessous de la ville de Brüx, l'affaissement commença sur la périphérie et se propagea vers l'intérieur. Lors d'une nouvelle évacuation, l'affaissement commença à l'extérieur du premier et se rétrécit de même vers l'intérieur. Un événement du même genre paraît s'être produit dans le Nord-Ouest de l'Islande (III, 2e partie, p. 953, fig. 215), et l'on peut supposer qu'un phénomène analogue s'est également réalisé dans l'exemple qui nous occupe.

Dès le début de ces études, nous avons insisté sur l'analogie existant entre la partie Nord de l'Océan Pacifique et la Presqu'île de l'Inde[1], et la même disposition se retrouve dans le Karroo[2]. Des chaînes de montagnes plissées s'avancent de trois côtés à la fois; le quatrième côté est ouvert. Dans le premier cas, ce sont le Kamtchatka, les Aléoutiennes et la Chaîne du Saint-Élie, dans le second les chaînons du Sind (fig. 312), l'Himalaya et les Chaînes de l'Arrakan, dans le troisième les trois faisceaux du Cap. La Presqu'île de l'Inde est un avant-pays, le Karroo l'est aussi, et nous devons admettre qu'un avant-pays existe également au-dessous du Pacifique Septentrional. En cherchant à interpréter ces grands traits de structure, il ne faut pas que l'hydrosphère nous fasse illusion. Si nous pouvions l'enlever, nous aurions devant nos yeux un vaste continent, situé à environ 3 600 ou 4 000 mètres au-dessous du niveau actuel de la mer; mais en avant des arcs plissés apparaîtraient des bandes de terrain allongées, plutôt irrégulières, qui se trouveraient encore à 2 000, 3 000, ou même 5 000 mètres en contrebas des immenses surfaces nouvellement exondées[3]. Ce territoire émergé représente l'avant-pays. *Le bord externe de l'avant-fosse est le bord curviligne d'une dépression de la lithosphère, et le bord interne de l'avant-fosse coïncide avec le bord externe de la chaîne plissée*, qui du continent s'est avancée sur ces parties basses. L'Asie est entourée à

[1. Voir I, p. 608.]

[2. III, 3e partie, p. 995.]

3. G. Schott dit de la fosse la plus profonde [voir ci-dessus, III, 3e partie, p. 1018, note 1], celle de Guam (9 636 m.) : « Le trait caractéristique, c'est qu'au sillon aussi profond qu'étroit qui est adossé vers l'Est aux îles de Guam, Tinian, Saipan, etc., suivant la direction N.-S., succèdent une série de croupes ou de relèvements très marqués, affectant la direction W.S.W.-E.N.E. (1 977, 1 260, 1 317 m.), ... comme s'il existait un vaste effondrement compris entre deux horsts (îles à l'Ouest, croupes sous-marines à l'Est) »; G. Schott, *Übersicht der Meerestiefen in einer Weltkarte* (Annalen d. Hydrogr., XXXIV, 1906, p. 23-27.) — A. de Lapparent, l'un des premiers, dès 1879, a attiré l'attention des géologues sur la distribution remarquable des grandes profondeurs, dans sa *Note sur la disposition générale des reliefs du globe terrestre* (Bull. Soc. Géol. de France, 3e sér., VII, 1878-79, p. 346-352); mais les faits essentiels n'ont été révélés que plus tard. C'est surtout à Supan, comme on l'a déjà vu (III, 3e partie, p. 1012), que revient le mérite de les avoir mis en lumière.

l'Est et au Sud par des bourrelets de ce genre. Nous leur avons donné le nom de faîtes (*Scheitel*). La Presqu'île de l'Inde est un horst, qui est resté en saillie sur un point où les avant-fosses, qui ne sont plus indiquées aujourd'hui que par de grandes vallées fluviales, étaient peut-être moins déprimées. L'Afrique est un horst qui, dans toute son étendue, ne présente aucune interruption entre l'édifice plissé qui le borde au Nord (Atlas)[1] et celui qui le limite vers le Sud (Montagnes du Cap).

Les bords curvilignes externes des avant-fosses résultent probablement de la décomposition d'un mouvement général d'affaissement, affectant toute la partie de l'Océan Pacifique située du côté de l'Asie.

Dès lors, on comprend que les couches cambriennes puissent être aussi peu dérangées dans l'arrière-pays que dans l'avant-pays, et que dans l'Océan Atlantique, comme dans l'Océan Indien, à l'exception du front des deux chaînes d'Antilles, les avant-fosses manquent aussi bien que les chaînes disposées en arc de cercle. Déjà en avant de l'arc Birman apparaît une avant-fosse.

On admet, comme nous l'avons dit, que les deux bords d'une avant-fosse ont une constitution différente, le bord externe représentant un bord affaissé de l'avant-pays recouvert par la mer, l'autre appartenant aux montagnes plissées s'avançant vers le large.

Il est rare qu'on trouve des roches volcaniques dans les avant-fosses; le fait n'a guère été observé qu'au voisinage des Philippines, où, d'ailleurs, il n'est pas certain que ces produits n'ont pas été amenés par les courants. Les volcans qui accompagnent les guirlandes insulaires n'occupent *jamais* l'avant-fosse, mais appartiennent exclusivement à la Cordillère plissée.

Plissement. — Le mode le plus simple de distribution des plis est réalisé quand, à l'intérieur d'un avant-pays affaissé suivant un parcours plus ou moins circulaire, il se forme des arcs concentriques, fermés des deux côtés. Une grande partie des faîtes et des rebords curvilignes de l'Asie appartient à ce type, ou du moins s'en rapproche. Mais souvent les arcs ne se ferment pas; une virgation ouverte subsiste, avec des

[1. Il résulte des derniers travaux dont les régions situées au Sud de l'Atlas ont été l'objet que la limite entre le domaine des plissements et la zone tabulaire est moins tranchée qu'on ne l'avait pensé tout d'abord; voir, en particulier, le grand ouvrage de G.-B.-M. Flamand : *Recherches géologiques et géographiques sur le Haut-Pays de l'Oranie et le Sahara* (*Algérie et Territoires du Sud*). In-4°, 1 091 p., 157 fig., 16 pl. et 7 cartes en couleurs, Lyon, 1911 [Thèse de doctorat]. — Consulter aussi P. Lemoine, *Afrique Occidentale* (*Handbuch der Regionalen Geologie*, herausgegeben von G. Steinmann und O. Wilckens, 14. Heft (Bd. VII, Abt. 6A). In-8°, 80 p., 14 fig., 1 carte h. t. Heidelberg, 1913 (Renferme, p. 66-78, une Bibliographie très complète). Voir p. 55, fig. 10 : les plis du Sahara, d'après G.-B.-M. Flamand.]

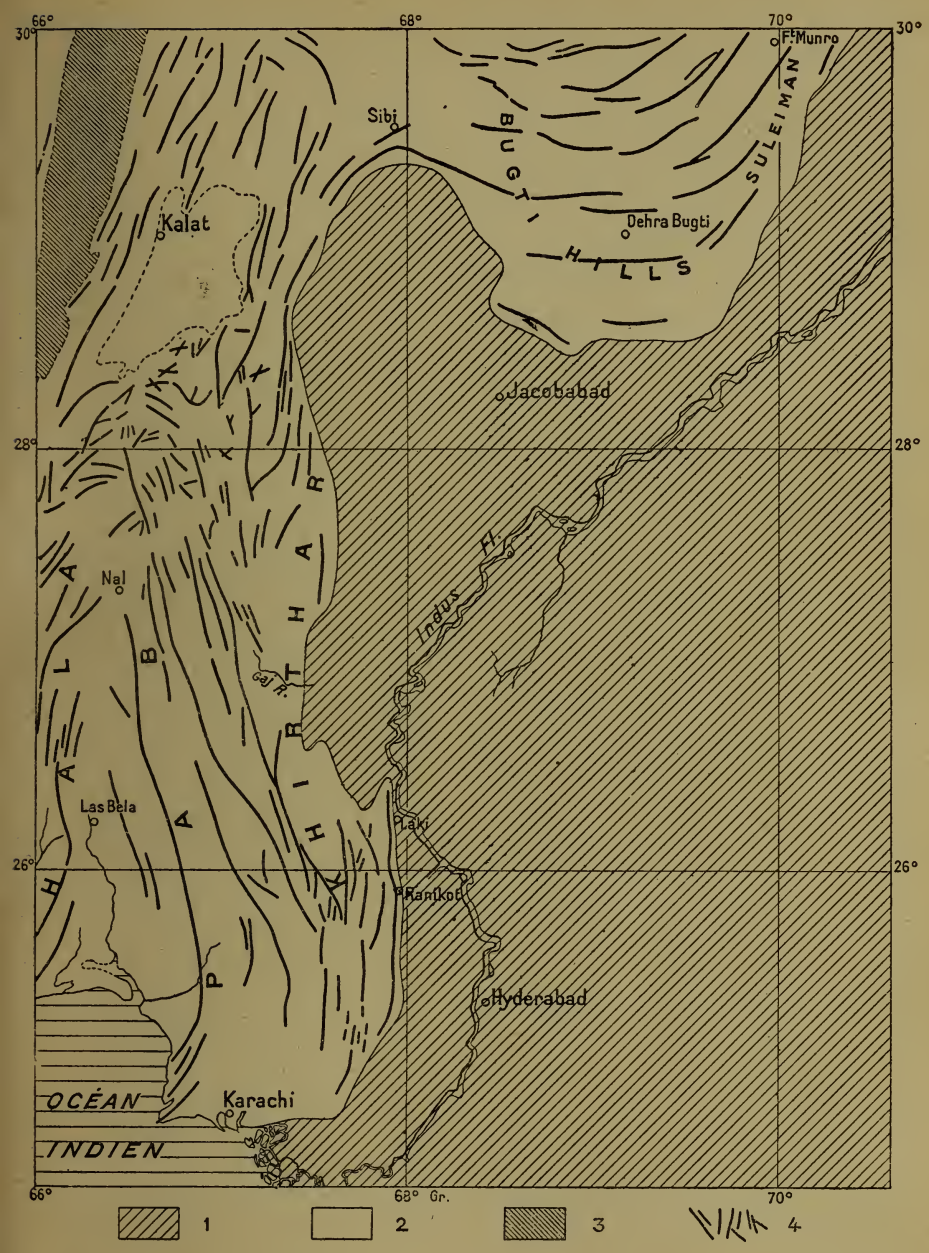


Fig. 312. — Anticlinaux tertiaires du Sind et du Baloutchistan Oriental, d'après E. Vredenburg (*Records Geol. Survey of India*, XXXVIII, 1909, pl. 11).

1. Avant-pays non plissé (Continent de Gondwana); 2. Domaine des plissements tertiaires (série de couches allant du Lias au Pontien), 3. Flysch oligocène (*Kojak shales*); 4. Anticlinaux. Échelle de 1 : 4 000 000 environ.

extrémités libres. Il peut également se produire une décomposition en coulisses obliques, comme dans les Montagnes Rocheuses [1].

En se propageant, la virgation peut manifester une tendance à rejoindre un arc, comme sur l'Hilmend ou dans les Aléoutiennes, ou encore elle peut continuer jusque bien au-delà de l'arc, comme dans le Tien-Chan. Enfin l'on connaît des exemples de plis indépendants, qui se propagent à une grande distance de leur lieu d'origine, jusqu'à ce qu'ils disparaissent définitivement avec des extrémités libres. Nous les avons désignés dans cet ouvrage sous le nom de « rameaux » (*Zweigfalten*). Leur formation exige une pression latérale énergique et s'exerçant sur de grandes surfaces, pression qui se trouve compensée par un excès d'ampleur de l'enveloppe extérieure de la planète. C'est ainsi que se sont formés les Appalaches et l'Hindou-Kouch, et aussi l'arc Birman, dont l'avancée par rapport aux autres arcs de bordure est si frappante; peut-être en a-t-il été de même pour la branche principale de l'Oural, bien qu'elle ait été considérée ici, à cause de sa situation, comme une ligne de faîte asiatique posthume.

Ces plis libres, se prolongeant en dehors de l'encadrement d'un faîte, sont soumis à des déviations qui leur sont propres. Quand ils rencontrent un obstacle local, il peut se produire une « virgation forcée » (*erzwungene Virgation*) secondaire, qui est différente de la virgation primaire des Alaskides ou des Philippines. C'est une virgation secondaire de ce genre qui s'est produite en avant des Appalaches, sous l'influence des Adirondacks [2], et en avant de l'Oural, sous l'influence du Plateau d'Oufa [3]. Il va de soi que la virgation forcée s'ouvre dans la direction des extrémités libres. Tels sont, pour les Appalaches, les fragments de coulisses isolées qui s'étendent bien au-delà du Mississipi [4], et, pour l'Oural, les Erghéni, dont l'âge est beaucoup plus récent [5].

Les plus fortes déviations ont été éprouvées par les Alpides, qui ont pris naissance à l'intérieur des affaissements des Altaïdes Occidentales et correspondent à des plis encadrés posthumes (*posthume Rahmenfaltung*). C'est ainsi que se sont formées, par prolongement des deux côtés, les courbures qu'on observe au voisinage des Portes-de-Fer, dans le Sud-Est des Carpathes, à la jonction des Alpes et des Apennins, entre la Sicile et la Tunisie, et enfin dans l'arc de Gibraltar : il en résulte une ligne directrice d'allure presque vermiculaire, avec extrémités libres aux deux bouts, « à rebours » (dans le sens des Altaïdes)

[1. Voir I, p. 754-766 et 807, pl. IV; III, 3e partie, p. 1143-1151.]
[2. III, 2e partie, p. 635.]
[3. III, 1re partie, p. 479-484.]
[4. III, 2e partie, p. 651-660.]
[5. III, 1re partie, p. 476-478.]

dans le Balkan Oriental, dans l'éperon de Valeni[1] et dans l'éperon de la Lägern (Chaîne du Jura), et « en avant » dans les Baléares (jusqu'à Majorque), bien qu'étant là dirigée vers l'Est[2].

Un cas particulièrement instructif se produit quand il y a continuation du plissement du côté des extrémites libres. On peut citer comme exemple les deux faisceaux de plis tertiaires récents qui, s'avançant à partir de la bordure septentrionale du Caucase, tendent à entourer le fragment cimmérien de la Crimée. Un second exemple est offert par l'extrémité des Monts de Hissar, qui recoupent l'Amou-Daria non loin et en aval de Kelif, et par celle du Mogol-Taou, qui croise le Sir Daria au-dessous de Khodjent (III, 1re partie, p. 410, pl. I). Elles sont l'une et l'autre très nettes, parce que ces deux fleuves doivent être considérés comme antécédents.

Lorsque les Dinarides viennent toucher les Alpes, dans la direction du massif porphyrique de Botzen, il se produit dans leur épaisseur même deux faisceaux de plis d'accommodation (*Ausweichungsfalten*), l'un dans la direction du Lac de Garde et de la fracture de Schio, l'autre dans la direction E.S.E. du Sud de la Styrie et de la Croatie[3]. De même que pour l'éperon de Valeni, dans les Carpathes, ces plis ont continué à se former jusqu'après l'époque levantine; mais leurs longues extrémités libres ne se montrent plissées qu'en partie; ailleurs, ce ne sont, à vrai dire, que des bandes de couches très redressées, limitées par des cassures (III, 1re partie, p. 450).

Revenons encore une fois aux extrémités des plis allongés, qui se prolongent librement.

Considérons une planche qui se meut lentement à la surface d'une nappe d'eau. En avant, si l'eau est agitée, il se forme des vagues plus serrées. Elles s'écoulent librement, des deux côtés, en longues rides secondaires, et s'écartent en divergeant, sous l'influence des obstacles, à mesure qu'elles s'éloignent; peut-être même s'y produit-il, comme pour les Appalaches dans l'Alabama[4], un passage de lignes directrices convexes à des lignes directrices concaves, mais toujours en diminuant de hauteur et en s'allongeant sous nos yeux. Cette comparaison se rapprochera plus encore de la réalité si l'on se représente la planche ou l'objet qui détermine le mouvement placé un peu au-dessous de la surface de l'eau. On pourrait encore chercher une analogie entre les ondes du Krakatoa, qui ont fait le tour de la Terre, et les rameaux allongés des Altaïdes.

[1. Voir III, 2e partie, p. 567.]

[2. III, 2e partie, p. 890-894.]

[3. Voir M. Furlani, *Der Drauzug im Hochpustertal* (Mitteil. Geol. Gesellsch. in Wien, V, 1912, p. 252-271, pl. IV, V : carte et coupes).]

[4. III, 2e partie, p. 638, fig. 123.]

Plissements à rebours et extinction des plis dans l'Édifice Asiatique. — Au risque de nous répéter, essayons de subdiviser l'Édifice Asiatique. Au Nord du Bouclier Canadien se présente d'abord un fragment de la périphérie, la Chaîne des États-Unis, au Nord de laquelle s'étend l'Océan Arctique. Puis l'on atteint le Continent de l'Angara, qui correspond à tout le territoire situé entre le Iénisséi et la Léna, y compris le bassin de l'Aldan, et se prolonge probablement encore au-dessous des plaines de la Sibérie Occidentale. Au-dessous de cette plate-forme cambrienne, qui doit son nom aux diverses flores paléozoïques supérieures recueillies dans sa partie méridionale [1], on voit du gneiss affleurer le long de plusieurs cours d'eau du Nord de la Sibérie. Des dépôts marins mésozoïques, demeurés horizontaux, empiètent transgressivement sur la partie septentrionale de ce continent.

Cette plate-forme s'étend de la Terre de Bennett jusque dans l'amphithéâtre, en forme de fer à cheval, d'Irkoutsk (par 52° de lat. N.), lequel représente le bord interne de l'ancien faîte du Baïkal. A celui-ci succèdent vers l'Ouest le faîte anté-dévonien de Minoussinsk, puis le faîte carbonifère de l'Altaï. Approchons maintenant de la périphérie. On peut regarder la Chaîne des États-Unis comme représentant un *premier* segment de la périphérie. Un *deuxième* segment, ou plutôt une deuxième série s'étend, à l'Est, des Montagnes Rocheuses et de la Chaîne du Saint-Élie, en passant par les Alaskides et les guirlandes insulaires de l'Asie Orientale, jusqu'à Halmahera et Célèbes. A cette seconde série répond, vers l'Ouest, un *troisième* élément, les Ouralides. Leur tronc principal, l'Oural, fait songer au Grand Khingan; ses prolongements atteignent le Nord de la Norvège, mais l'édifice périphérique est si peu développé dans ces parages, qu'en venant de l'Est, des couches cambriennes horizontales arrivent jusqu'au-dessous des Calédonides.

Au Sud des Philippines et des Ouralides apparaît une modification, qui se fait sentir à partir de l'Altaï : de longues lignes droites caractérisent désormais la limite méridionale des éléments suivants de la périphérie. La partie orientale se prolonge vers le Sud dans l'arc Birman. La partie occidentale atteint le horst d'Azov, pénètre en Europe, se prolonge jusqu'au-delà de l'Océan et ne se termine qu'après avoir franchi le Mississipi. Ces deux éléments, Altaïdes Orientales et

[1. Sur l'histoire de ces flores, et sur la jonction du Continent de l'Angara avec les terres plus méridionales, voir A. C. Seward, *Jurassic Plants from Chinese Dzungaria, collected by Professor* Obrutschew (Mém. Comité Géol., St Pétersbourg, Nouv. Série, Livr. 75, 61 p., 7 pl., 1911; r., angl.). M. D. Zalessky, *Sur le* Cordaites aequalis *Göppert sp. de Sibérie et sur son identité avec la* Noeggerathiopsis Hislopi *Bunbury sp. de la flore du Gondwana* (Ibid., livr. 86, 43 p., 7 pl., 1912; r., f.); G. Merzbacher, *Ueber das Alter der Gesteine der Angaraserie in den Vorketten der Bogdo Ola Gruppe.* In-8°, 21 p., 1 pl. panoramas, Moscou, 1913 (all., r.; extr. du vol. intitulé : *Festschrift für* D. N. Anutschin *zu seinem 70-ten Geburtstage*).]

Altaïdes Occidentales, représentent le *quatrième* et le *cinquième* segment de la périphérie.

A l'intérieur de ces longs rameaux apparaissent les arcs méridionaux de bordure, répondant au *sixième* et dernier segment. Ce sont : l'Himalaya, l'arc Iranien et l'arc Tauro-Dinarique. Celui qui entoure la Méditerranée Occidentale a subi des transformations posthumes.

Ainsi se termine l'Édifice Asiatique, et nous revenons à l'*Amphithéâtre d'Irkoutsk* (III, 1re partie, fig. 3, p. 16).

Là, au centre de cet édifice, dont toutes les parties tendent vers l'extérieur, il y a des traces indubitables de plissement à rebours, c'est-à-dire vers le côté interne ou concave de l'arc. Le synclinal de l'Ile Olkhon, renversé vers l'intérieur (III, 1re partie, fig. 11, p. 85), et les couches siluriennes renversées vers l'intérieur des Monts Onot en sont les preuves les plus nettes; mais même à l'Ouest, dans le prétendu horst du Iénisséi, Meister a constaté, depuis la publication du précédent volume de cet ouvrage, des renversements vers l'intérieur; et les plis en fer à cheval des couches de l'Angara, au Nord-Est de Nijné-Oudinsk, permettent de constater qu'encore après la période jurassique, un rétrécissement de l'amphithéâtre est survenu dans cette chaîne primitive (III, 1re partie, p. 32). Là, le plissement à rebours est en outre associé à des intrusions granitiques (Krouglaïa près de Nijné-Oudinsk, rapides de Strielka en amont du confluent de l'Angara [1]).

L'*arc de Verkhoïansk*, la branche la plus interne des Anadyrides, serait plissé, d'après le baron de Toll, vers l'intérieur; cette opinion a été exprimée il y a plusieurs années déjà, alors qu'elle devait passer pour peu problable. Aujourd'hui encore, elle n'est pas généralement adoptée (III, 3e partie, p. 1083).

Les *Monts Roumanzov*, par opposition avec le reste des Alaskides, sont sans aucun doute plissés vers l'intérieur. C'est ce que montrent les renversements, tournés vers le Nord, du Cap Lisburne et l'allure des couches dans la coupe des Monts Endicott (III, 3e partie, p. 1097, fig. 246 et p. 1100, fig. 247).

Comme les *Montagnes Rocheuses* vont se raccorder par rebroussement avec les *Monts Roumanzov* (mais non avec la Chaîne de l'Alaska)

1. *Explorations géologiques dans les régions aurifères de la Sibérie*; *Carte géologique de la région aurifère d'Iénisséi*; *Description de la feuille K-8*, par A. Meister. In-8°, VI-89 p., 1 carte, Saint-Pétersbourg, 1903 (r., f.). D'anciennes indications permettaient de supposer que les Monts Kropotkin (III, 1re partie, p. 59) étaient, eux aussi, plissés à rebours; récemment, on a émis des doutes au sujet de ces régions : A. Guérassimow, *Explorations géologiques dans les Régions aurifères de la Sibérie. Carte géologique de la Région aurifère de la Léna. Description de la feuille III-6*. In-8°, IV-229 p., 4 pl. cartes, 1907; r.). [Voir aussi A. Meister, *Sur les roches et les gisements d'or dans le district Sud d'Iénisséi* (Explor. géol. dans les régions aurif. de la Sibérie. Région aurif. d'Iénisséi. Livr. IX, 1910). In-8°, XXXIV-669 p., 28 fig., 23 pl., 2 cartes; r. f.]

et se montrent poussées dans le même sens, en tournant le dos, par conséquent, aux plissements dont le regard est dirigé vers l'Océan Pacifique, — on doit les considérer, relativement à l'Édifice Asiatique, comme plissées à rebours. Ce plissement à rebours des Montagnes Rocheuses se traduit par un refoulement vers l'Est, tandis que la Chaîne du Saint-Élie a été poussée vers l'Ouest. Toutefois, dans la partie méridionale des Montagnes Rocheuses, une dissymétrie permettant de conclure à un mouvement unilatéral n'est guère apparente [1].

Entre les différents rameaux du grand édifice surgissent des massifs qui ont opposé une résistance passive aux plissements plus

Fig. 313. — Recouvrements et renversements du Ki-Chóu-Chan (Chan-si), d'après E. Blackwelder (*Research in China*, vol. I, part 1. In-4°, Washington, 1907, p. 162, fig. 51).

1. Granite (Précambrien); 2. Schistes rouges (Cambrien); 3. Calcaires (d°); *r*. Surface de recouvrement; *f*. Faille normale. — Échelle de 1 : 30 000 environ.

récents. Le plus vaste de ces massifs est situé dans le *Nord de la Chine*; sa bordure occidentale et septentrionale, dans le coude du Hoang-Ho, joue le rôle d'un avant-pays par rapport aux plissements du Désert de Gobi. Dans l'Est de ce massif, Bailey Willis et Blackwelder ont démontré que le terrain houiller du Chan-si est plissé et que, dans le Ki-Tchóu-Chan, les roches précambriennes et cambriennes sont affectées par un plissement et un renversement général vers le Sud-Est (fig. 313). Le Ki-Tchóu-Chan est dirigé N.E.-S.W. et ménage la jonction avec l'Outaï-Chan (Wutai-Shan), qui est également plissé [2]. C'est ainsi que l'Outaï-Chan s'infléchit peu à peu dans la direction du Grand Khingan qui, encore auprès de Dolon-Nor, court E.N.E. [3], et que, conformément à une conjecture antérieure et aux résultats acquis plus

[1. Voir III, 3e partie, p. 1257, 1258, notes.]

2. Bailey Willis, Eliot Blackwelder, R. H. Sargent, F. Hirth, *Research in China*; 2 vol. in-4° en 3 parties, et 1 atlas de 42 feuilles in-f°, Washington, Carnegie Institution, 1907 (Publication No. 54). [Cet ouvrage comprend : Volume I, Part 1 : *Descriptive Topography and Geology*, by Bailey Willis, Eliot Blackwelder, and R. H. Sargent. xiv-353-xvi-p., 51 pl. dont 10 cartes, 65 fig.; Volume I, Part 2 : *Petrography*, by Eliot Blackwelder, p. i-iv, 357-478, pl. 52-57; Volume II : *Systematic Geology*, by Bailey Willis. vi-133-v p., 9 pl. cartes.] Ces faits concernent les chaînons représentés par des traits rouges sur la pl. III de notre tome III, 1re partie.

3. Communication manuscrite de M. Ogawa sur un voyage de Péking à Dolon-Nor, effectué en 1903.

au Nord (III, 1re partie, p. 150, 265), nous attribuons désormais aux plissements.

L'intercalation des plis venant de Koukou-Khoto caractérise l'extrémité Nord-Est du massif du Nord de la Chine. Tous ces rameaux sont donc plissés en avant (*Vorfaltung*).

La façon dont se comporte le massif du *Sud de la Chine* (fig. 314)[1] est toute différente. Celui-ci ne joue pas, vers l'Ouest, le rôle d'un avant-pays résistant : bien au contraire, les hautes chaînes qui le précèdent dans cette direction se prolongent à sa surface en diminuant peu à peu d'importance (fig. 315).

Les Chaînes du Yun-nan, presque parallèles au méridien sous la latitude de 27° 30′, et étroitement serrées les unes contre les autres, divergent plus au Sud vers le S.W., dans les Monts Patkoi[2] et, au Sud-Est de Ta-li-fou, dans la direction du Fleuve Rouge. Au Nord-Ouest, d'autres chaînes méridiennes se présentent à l'Est de Batang jusqu'au Ta-pa-Chan et au Bassin Rouge[3]. Une coulisse particulièrement longue

[1. Voir F. Freiherr von Richthofen, *China. Ergebnisse eigner Reisen und darauf gegründeter Studien.* Band III. *Das Südliche China*, nach den hinterlassenen Manuscripten im letzwilligen Auftrag des Verfassers herausgegeben von Ernst Tiessen. In-4°, XXXI-817 p., 101 fig., 2 pl. coupes géol., 1 pl. carte géol., 2 tableaux, Berlin, 1912; *Atlas von China. Orographische und geologische Karten.* Zweite Abtheilung : *Das Südliche China.* Bearbeitet von Max Groll. In-f°, Taf. 27-54 : comprend 14 cartes topographiques et 14 cartes géologiques à l'échelle de 1 : 750 000. Berlin, 1911. Voir aussi la publication intitulée : *Ferdinand von Richthofen's Tagebücher aus China.* Ausgewählt und herausgegeben von E. Tiessen. 2 vol. in-8°, avec 18 pl. dont 1 carte, Berlin, 1907. Consulter enfin l'article d'orientation de E. Tiessen : *Das südwestliche China. Auf Grund der Hauptergebnisse der ersten Abteilung der III. Bandes von F. v. Richthofens « China »* (Mitteil. des Ferdinand von Richthofen-Tages 1911. In-8°, Leipzig und Berlin, 1911, p. 1-37).]

[2. Cette direction commande également la plupart des accidents qui caractérisent plus au Sud, entre l'Iraouaddi et la Salouen, la région des États Chans, dans la Birmanie orientale; T. H. D. La Touche, *Geology of the Northern Shan States* (Mem. Geol. Survey of India, XXXIX, part 2, 1913, VI-379-XLI p., 11 fig., 28 pl., 3 cartes géol. à 1 : 253 440; voir, en particulier, p. 347-365) : signale, au-dessus des gneiss archéens et des schistes cristallins, une série sédimentaire puissante, tout à fait analogue à celle du Sud de la Chine et du Nord de l'Indo-Chine, et dans laquelle l'Ordovicien, le Gotlandien, le Dévonien, le Permo-carbonifère, le Rhétien et le Jurassique inférieur sont représentés par des dépôts en grande partie marins. Ces terrains, qui se sont accumulés le long du rivage oriental du Continent de Gondwana, ont fourni des faunes très riches, décrites dans les livraisons suivantes de la *Palaeontologia Indica* (New Series) : F. R. C. Reed, *The Lower Palæozoic Fossils of the Northern Shan States, Upper Burma* (vol. II, Memoir No. 3, 1906, 154 p., 8 pl.), et *The Devonian Faunas of the Northern Shan States* (vol. II, Memoir No. 5, 1908, 183 p., 20 pl.); C. Diener, *Anthracolithic Fossils of the Shan States* (vol. III, Memoir No. 4, 1911, 74 p., 7 pl.); Miss M. Healey, *The Fauna of the Napeng Beds or the Rhætic Beds of Upper Burma* (vol. II, Memoir No. 4, 1908, 88 p., 2 tableaux, 9 pl. ; La Touche y signale à Lilu, à l'E. de Mandalay, un recouvrement important, regardant vers l'Ouest (Mém. cité, p. 136 et 359, pl. 22 et 23, fig. IV).]

[3. Voir E. C. Abendanon, *La géologie du Bassin Rouge de la Province du Se-Tchouan* (*Chine*). In-8°, 199 p., 4 pl. dont 2 cartes, La Haye, 1906 (Extrait de la *Revue universelle des Mines*, etc., tomes XIV et XV, 4e série, 50e année, 1906); *Structural Geology of the Middle Yang-Tzï-Kiang Gorges* (Journ. of Geol., Chicago, XVI, 1908, p. 587-616, 8 fig., 1 carte géol. h. t.); *Overzicht der geographie en geologie van het « Roode Bekken », in de provincie Se-Tsjoean, Midden-China* (Tijdskr. k. Nederl. Aardrijksk. Genootsch., 2e ser., XXV, 1908, p. 470-512, pl. VIII, avec

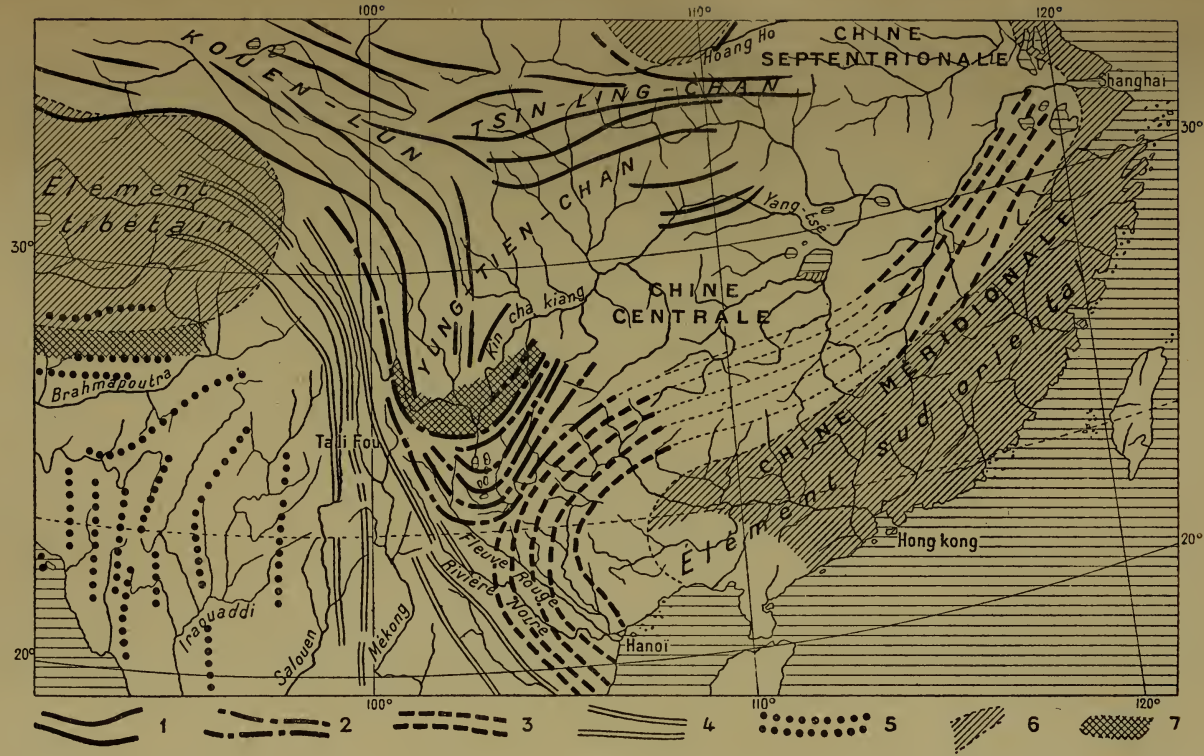


FIG. 314. — Directrices des plissements dans la Chine Méridionale, d'après J. Deprat (*Étude géologique du Yun-nan Oriental*, 1re partie, *Géologie générale*. In-4°, Hanoï-Haïphong, 1912, p. 300, fig. 15).

1. Système du Kouen-Lun et du Tsin-Ling-Chan; 2. Arc Yunnanais; 3. Faisceau Sino-annamitique, en bordure de l'élément sud-oriental; 4. Faisceau du Mé-Kong; 5. Himalaya et Arc Birman; 6. « Éléments continentaux » de Bailey Willis; 7. Zones de grands charriages. — Échelle de 1 : 15 000 000.

(anticlinal de Tung-tchouang) est recoupée par le Yang-tsé-Kiang au point le plus méridional de son cours. D'après les observations de Leclère, tous ces plis s'étalent vers le Sud sous la forme de larges ondulations. Du Dévonien, du Carbonifère, du Permien marin, du Trias marin et des couches rhétiennes et liasiques à empreintes végétales occupent toute la contrée, et ce n'est guère qu'à partir du 108e degré de long. E. que l'on aperçoit au-dessous de ces terrains variés et faiblement ondulés un substratum plus ancien. Des flexures, dirigées N.N.E. et disposées en gradins, règnent à travers le Yun-nan Oriental et le Kouang-si [1].

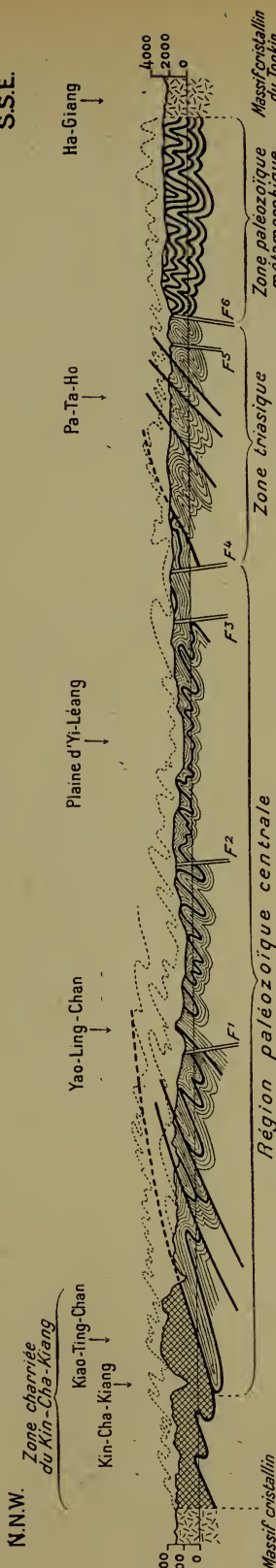


Fig. 315. — Traits généraux de la tectonique du Yun-nan Oriental, d'après J. Deprat (*Mém. Service géol. de l'Indochine*, vol. I, fasc. 1, Atlas. In-f°, Hanoï-Haiphong, 1912, fig. 118).

Échelle de 1 : 2 500 000. — Les traits noirs forts représentent les failles et surfaces de charriage, les traits fins doubles (F^5-F^6) les failles d'affaissement.

2 cartes tectoniques, Kaart X); F. Freiherr von Richthofen, *China. Ergebnisse eigner Reisen und darauf gegründeter Studien*, III. *Das südliche China*, herausgegeben von E. Tiessen. In-4°, Berlin, 1912 (voir surtout p. 112-211), et *Atlas von China*, 2. Abtheilung, *Das südliche China*, bearbeitet von M. Groll. In-f°, Berlin, 1912 (cartes 27-34, 1 : 750 000).]

1. A. Leclère, *Étude géologique et minière des Provinces chinoises voisines du Tonkin* (Annales des Mines, 9e sér., XX, 1901, p. 287-492, pl. V-XVI, dont 6 cartes). [Consulter en outre : H. Lantenois, Counillon, H. Mansuy, R. Zeiller et L. Laurent, *Résultats de la Mission géologique et minière du Yun-nan méridional, septembre 1903-janvier 1904* (Annales des Mines, 10e sér., Mém., XI, 1907, p. 298-503, pl. X-XIV, dont 2 cartes géol.); J. Deprat et H. Mansuy, *Résultats stratigraphiques généraux de la Mission géologique du Yun-nan* (C. R. Acad. Sc., CLI, 1910, 2e sem., p. 572-574); J. Deprat, *Sur la répartition géographique des différents étages reconnus au Yun-nan* (Ibid., p. 776-778), et *Sur la tectonique du Yun-nan* (Ibid., p. 902-904). Voir surtout J. Deprat et H. Mansuy, *Étude géologique du Yun-nan Oriental*, 1re partie. *Géologie générale*, par J. Deprat. Texte; in-f°, XIII-370 p., 19 fig., 20 pl.; Atlas, in-f°, 170 fig., 4 cartes; 2e partie, *Paléontologie*,

On peut donc dire, en conséquence, que cette partie de la Chine est occupée par les restes du manteau sédimentaire[1] qui, jadis, a recouvert les hautes chaînes (III, 1re partie, p. 301).

par H. Mansuy, 147 p., 25 pl. (Mém. Service Géol. de l'Indochine, vol. I, fasc. 1 et 2, Hanoï-Haïphong, 1912; à part, *Carte géologique du Yun-nan Oriental*, à 1 : 200 000, 6 feuilles en couleurs). — Contrairement à ce que paraissaient indiquer les travaux des premiers explorateurs, la structure du Yun-nan s'est montrée d'une extrême complication. Aux terrains déjà reconnus par les ingénieurs Leclère et Lantenois, la Mission conduite par J. Deprat et H. Mansuy aux abords du chemin de fer français du Yun-nan, entre Mong-tseu et la boucle du Fleuve Bleu, est venue d'abord ajouter plusieurs horizons nouveaux : Cambrien, Ordovicien, etc., en même temps qu'elle précisait la stratigraphie de la puissante série, riche en niveaux calcaires, qui s'étend du Dévonien au Trias; de plus, elle a fait connaître l'énorme développement des roches éruptives basiques, dont l'émission remonte au Moscovien et au Permien; enfin, et surtout, son chef a révélé une tectonique grandiose, caractérisée par des charriages d'une amplitude colossale, dont la production aurait été contemporaine de la genèse de l'Ilimalaya, ainsi que par de grandes fractures beaucoup plus récentes. Ces remarquables découvertes, complétées par des observations pleines d'intérêt sur l'évolution du relief, ont fait faire un pas décisif à nos connaissances sur l'histoire du Continent Asiatique « Le Yun-nan, écrit J. Deprat, entre les massifs du Haut-Tonkin et le haut Fleu Bleu, offre : 1° une bande paléozoïque plissée moulant les massifs haut-tonkinois; 2° un ancien géosynclinal triasique formant une zone de plis serrés l'enveloppe, écrasé dans la région de Mong-tseu entre elle et l'aire paléozoïque occidentale. Cette dernière la chevauche d'une façon régulière; 3° la grande aire paléozoïque occidentale offre un faisceau de plis N.-N.-E. dans la région des lacs, s'incurvant peu à peu vers l'Ouest, d'une part, puis vers le Nord-Ouest (Ta-li); vers le Nord-Est au contraire, d'autre part, formant de puissants plissements couchés vers le Sud-Est et le Sud. Dans la concavité de ce grand arc plissé s'enfonce la vaste masse charriée du haut Fleuve Bleu. L'ensemble du Yun-nan oriental apparaît donc comme une série de gigantesques écailles plissées, poussées vers le Sud et chevauchées par la partie méridionale du Tibet oriental qui a refoulé l'ensemble contre le grand massif ancien du Haut-Tonkin ». (C. R. Acad. Sc., CLI, 1910, 2e sem., p. 903-904). Voir en outre J. Deprat, *Les zones plissées intermédiaires entre le Yunnan et le Haut-Tonkin* (Ibid., CLX, 1915, 1er sem., p. 640-642). — Un dernier écho des fractures qui découpent la région en un véritable damier serait fourni par les tremblements de terre, souvent violents, dont elle est encore le théâtre; J. Deprat, *L'activité séismique dans le Yun-nan méridional en 1909* (C. R. Acad. Sc., CLI, 1910, 2e sem., p. 1011-1014); et *Étude géologique du Yun-nan oriental*, 1re partie, *Géologie générale*, p. 316-318, fig. 15 *bis* : carte.]

[1. Sur les terrains sédimentaires de la Chine et les fossiles qu'ils renferment, voir le volume complémentaire (final) du grand ouvrage de F. von Richthofen : *China. Ergebnisse eigener Reisen und darauf gegründeter Studien.* Band V, *enthaltend die abschliessende paläontologische Beschreibung der Sammlungen F. von Richthofens, die Untersuchung weiterer fossiler Reste aus den von ihm bereisten Provinzen sowie den Entwurf einer erdgeschichtlichen Uebersicht Chinas* von F. Frech. Gr. in-8°, XIV-289 p., 3 tableaux, 31 pl., 4 cartes paléogéographiques, Berlin, 1911 (p. 243-266 : « Zusammenfassung. Kurze Uebersicht der Geschichte der Meere und Gebirge in China »); voir aussi le résumé de Fr. Frech, *Über die geologische Entwicklung Chinas* (Zeitschr. Gesellsch. f. Erdkunde, Berlin, 1910, p. 504-511; repris, avec plus de détails, dans : Mitteil. der Ferdinand von Richthofen-Tages, 1911. In-8°, Leipzig-Berlin, p. 38-61). — J. Deprat et H. Mansuy, *Étude géologique du Yun-nan oriental*, 3e partie. *Étude des Fusulinidés de Chine et d'Indochine et Classification des calcaires à Fusulines*, par J. Deprat. In-4°, 77 p., 9 pl., Hanoï-Haïphong. 1912 (Mém. Service Géol. de l'Indochine, vol. 1, fasc. 3). — Consulter en outre le volume III de l'Ouvrage : *Research in China* (Carnegie Institution of Washington, Publication n° 54). In-4°, VIII-375 p., 29 fig., 29 pl. Washington, 1913 (renferme les trois mémoires suivants : *The Cambrian Faunas of China*, by C. D. Walcott; *A Report on Ordovician Fossils collected in Eastern Asia in 1903-04*, by Stuart Weller; *A Report on Upper Paleozoic Fossils collected in China in 1903-04*, by George H. Girty). — Pour les terrains houillers, consulter l'ouvrage : *The Coal Resources of the World. An Inquiry made upon the initiative of the XII. International Geological Congress*, Canada, 1913, vol. 1 (p. 129-168 : Noah Fields Drake, *The Coal Resources of China*, 1 carte et 5 fig. dans le texte; p. 169-237, Kinosuké Inouyé, même titre, 16 fig., Atlas, Map No. 9).]

Plus à l'Est, le massif du Sud de la Chine est très peu connu. En se dirigeant de Fou-tcheou vers l'intérieur des terres, on trouve des gneiss, des amphibolites, du granite et des schistes anciens, surmontés de couches discordantes ayant un faciès mésozoïque[1].

Revenons aux chaînes du Yun-Nan. Des coulisses qui ont accompagné le Fleuve Rouge[2] vers le Sud-Est part, à l'Ouest, la Cordillère de l'Annam[3], qui devient convexe vers l'Est et emboîte l'allure des lignes des Philippines. Les coulisses orientales atteignent, par des contreforts d'une faible altitude, le delta du Fleuve Rouge; mais dans l'intérieur des terres, d'après les observations de Zeil, d'autres plissements leur succèdent, dont la direction, dans le territoire situé au Nord et au Nord-Est de Hanoï, s'infléchit du S.E. à l'E.N.E. avec convexité tournée vers le Sud et le Sud-Est (fig. 316); il y a lieu d'attendre de nouvelles observations à leur sujet[4].

1. Kinosuké Inouyé, *Voyage le long du Min-kiang, Province du Fo-kien, Chine* (Journal of Geography, published by the Tokyo Geographical Society, X, 1898, p. 583-592 et 637-641, carte). M. Yamasaki a eu l'obligeance de me traduire ce document, imprimé en japonais. [Consulter dans F. von Richthofen, *China*, Bd. III, *Das südliche China*, Berlin, 1912, p. 393 et suiv., la 3e partie, intitulée : *Das südöstliche China* (en particulier chap. VII, VIII et IX, p. 395-507), et l'*Atlas*, 2. Abt., 1911, Taf. 39-42).]

[2. Voir les notes suivantes de J. Deprat : *Sur les formations éruptives et métamorphiques au Tonkin et sur la fréquence des types de laminage* (C. R. Acad. Sc., CXLIX, 1909, 2e sem., p. 864-868); *Sur les terrains paléozoïques de la Rivière Noire, région entre la frontière laotienne et le Fleuve Rouge* (Ibid., CLVI, 1913, 1er sem., p. 579-581); *Sur l'existence de charriages importants au Tonkin entre le Fleuve Rouge et la Rivière Noire* (Ibid., CLVI, 1913, 1er sem., p. 1284-1286); *Les charriages de la région de la Rivière Noire, sur les feuilles de Thanh-ba et de Van-yên* (Mém. Service Géol. de l'Indochine, II, fasc. 2, 1913, p. 47-65, 14 fig., dont 1 carte géol.); *Sur la présence du Rhétien marin avec charbon gras, sur la bordure occidentale du delta du Fleuve Rouge* (C. R. Acad. Sc., CLVIII, 1914, 1er sem., p. 815-817); *Les accidents tectoniques et les zones d'écrasement de la basse Rivière Noire* (Ibid., p. 1602-1605, croquis tectonique); les grands charriages du Tonkin occidental sont postérieurs au Rhétien, qui, à Cho-ho, s'enfonce sous les nappes de terrains paléozoïques. — Pour les plis plus occidentaux, orientés S.W. (vallée du Mékong), voir l'étude de H. Mansuy : *Mission du Laos, 1. Géologie des environs de Luang-Prabang; 2. Mission Zeil dans le Laos septentrional. Résultats paléontologiques* (Mém. Service Géol. de l'Indochine, vol. I, fasc. 4, 1912, p. 1-52, 1 carte géol., et pl. I-IX).]

[3. J. Deprat, *Sur la découverte de l'Ordovicien à* Trinucleus *et du Dinantien dans le Nord-Annam et sur la géologie générale de cette région* (C. R. Acad. Sc., CLIV, 1912, 1er sem., p. 1452-1454); *Sur la succession des horizons du Trias inférieur et moyen dans le Nord-Annam* (Ibid., p. 1749-1751); *Note sur les terrains primaires dans le Nord-Annam et dans le bassin de la Rivière-Noire (Tonkin) et sur la classification des terrains primaires en Indo-Chine* (Mém. Service Géol. de l'Indochine, II, fasc. 2, 1913, p. 1-22, 8 fig.); *Étude préliminaire des terrains triasiques du Tonkin et du Nord-Annam* (Ibid., p. 23-43, 9 fig.).]

4. G. Zeil, *Contribution à la géographie tectonique du Haut-Tonkin* (Annales de Géogr., XVI, 1907, p. 430-450, pl. XII : carte géol., et fig. 1-15). [Voir aussi le mémoire détaillé du Capitaine G. Zeil : *Contribution à l'étude géologique du Haut-Tonkin. Feuilles de That-Khé, de Pho-Binh-Gia et de Loung-Tchéou* (Mém. Soc. Géol. de France, 4e sér., I, Mém. n° 3, 1907, p. 3-20, fig. 1-13, pl. VI, VII : carte géol. à 1 : 500 000); — H. Lantenois, *Note sur la Géologie de l'Indo-Chine* (Ibid., Mém. n° 4, p. 1-56, pl. VIII : carte géol. du Tonkin à 1 : 1 500 000; exposé des travaux géologiques relatifs à l'Indo-Chine, et spécialement au Tonkin, exécutés jusqu'en 1906), et *Sur l'état d'avancement des travaux du Service Géologique de l'Indo-Chine* (C. R. Acad. Sc., CLII, 1911, 1er sem., p. 1879-1881); — J. Deprat, *Les séries stratigraphiques en Indochine et au Yunnan* (Mém. Service Géol. de l'Indochine, II, fasc. 2, 1913, p. 67-81). —

Puis viennent encore d'autres massifs, intercalés au milieu des plissements, dans le *Cambodge*[1] et dans le *Sud de Bornéo*.

Ces détails ont été signalés, pour montrer que dans ces grandes ramifications de la périphérie orientale, on n'a guère observé jusqu'à présent de plissements à rebours. Une exception locale se produit pour l'arc birman, dans le Sud de Sumatra, où Tobler, ayant à déterminer l'allure des anticlinaux tertiaires qui jalonnent les gîtes de pétrole, a trouvé qu'ils résultent d'un mouvement dirigé vers le Nord et le Nord-Est, c'est-à-dire d'un plissement à rebours[2].

Au Moustagh-Ata, sur le bord oriental du Pamir, il existe un puissant renversement ou chevauchement, dirigé vers l'Est, c'est-à-dire vers le bord concave de l'arc de Yarkend (III, 1re partie, p. 359, fig. 56). On constate des faits analogues dans les plissements qui entourent l'Hilmend[3]. Mais revenons aux faîtes intérieurs.

Dans le *faîte de Minoussinsk* se présente également un plissement

Pour la Paléontologie, voir H. Mansuy, *Contribution à la Carte géologique de l'Indo-Chine. Paléontologie.* In-8°, 73-III p., 18 pl. Hanoï-Haïphong, 1908 (Gouvernement Général de l'Indo-Chine. Direction des Travaux publics. Service des Mines); le même, *Contribution à la Géologie du Tonkin. Paléontologie. Suivi d'un Exposé sommaire des découvertes paléontologiques faites en Indochine au cours de l'année 1911 et au début de l'année 1912* (Mém. Service Géol. de l'Indochine, vol. I, fasc. 4, 1912, p. 53-82, pl. X-XIII); *Paléontologie de l'Annam et du Tonkin* (Ibid., II, fasc. 3, 1913, 49 p., 6 pl.); *Nouvelle contribution à la Paléontolagie de l'Indochine* (Ibid., II, fasc. 5, 1913, 40 p., 5 pl.). — Voir, en outre, H. Douvillé, *Les calcaires à Fusulines de l'Indo-Chine* (Bull. Soc. Géol. de France, 4e sér., VI, 1906, p. 576-587, 10 fig., pl. XVII, XVIII); — J. Deprat, *Sur la succession des étages carbonifères et permiens en Indo-Chine* (C. R. Acad. Sc., CLVI, 1913, 1er sem., p. 1109-1112); *Étude des Fusulinidés de Chine et d'Indochine et Classification des calcaires à Fusulines. 2e Mémoire. Les Fusulinidés des calcaires carbonifériens et permiens du Tonkin, du Laos et du Nord-Annam* (Mém. Service Géol. Indochine, II, fasc. 1, 1913, 76 p., 25 fig., 10 pl.); — H. Mansuy, *Les calcaires à Productus de l'Indo-Chine* (C. R. Acad. Sc., CLVI, 1913, 1er sem., p. 1030-1032); *Faunes des calcaires à Productus de l'Indochine. Première série* (Mém. Service Géol. Indochine, II, fasc. 4, 1913, 135 p., 13 pl.).]

[1. Voir René de Lamothe, *Note sur la Géologie du Cambodge et du Bas-Laos* (Mém. Soc. Géol. de France, 4e sér., I, Mém. n° 5, 1907, p. 58-60, pl. IX : carte géol. à 1 : 5 000 000). — Sur les régions adjacentes, à l'Ouest, voir le rapport de B. Högbom, *Contributions to the Geology and Morphology of Siam* (Bull. Geol. Institution University of Upsala, XII, 1913-1914, p. 65-128, fig. 1-11, pl. I : « Geological Map of Siam and Surrounding Countries » à 1 : 7 500 000).]

2. Aug. Tobler, *Topographische und geologische Beschreibung der Petroleumgebiete bei Moeara Enim, Süd-Sumatra* (Tijdschr. k. Nederl. Aardrijksk. Genootsch., IIe ser., XXIII, 1906, p. 199-315, 5 pl., dont 2 cartes; voir en particulier p. 261 et 273). [Voir aussi A. Tobler, *Korte Beschrijving der Petroleumterreinen gelegen in het zuidoostelijk deel der Residentie Djambi, Sumatra* (Jaarb. v. h. Mijnwezen in Nederl. Oost-Indië, XL, 1911, Verhandelingen, p. 12-39; Atlas contenant 1 carte géol. générale à 1 : 200 000 et 19 cartes de détail, avec coupes, à 1 : 25 000); et *Voorloopige Mededeeling over de Geologie der Residentie Djambi* (Ibid., XXXIX, 1910, Verhandelingen, p. 1-29, pl. I : carte tectonique; signale l'existence probable de grands charriages tournés vers le N.E.). — La même allure, avec regard des accidents vers la concavité de l'arc birman, paraît régner plus au Nord, dans le remplissage tertiaire de la vallée de l'Iraouaddi; E. H. Pascoe, *The Oil-Fields of Burma* (Mem. Geol. Survey of India, XL, part 1, 1912, x-269-xxxix p., 54 pl. dont 1 grande carte géol. détaillée à 1 : 7 920, 9 cartes diverses et 6 pl. de coupes; Bibliographie, p. 260-269).]

[3. Sur le regard des charriages asiatiques, voir K. Leuchs, *Die Bedeutung der Überschiebungen im Zentralasien* (Geol. Rundschau, V, 1914, p. 81-87).]

à rebours. Au voisinage du Iénisséi, le Saïan Occidental est renversé vers le Nord, c'est-à-dire vers l'intérieur; et il est probable que les plis dévoniens en fer à cheval situés en aval de Minoussinsk jouent un rôle analogue aux plis jurassiques, également disposés en fer à cheval, des environs de Nijné-Oudinsk (III, 1re partie, p. 105).

Pour le faîte de l'Altaï, la question doit rester ouverte. Quelques

Fig. 316. — Croquis tectonique des feuilles de That-Khé et de Pho-Binh-Gia (Tonkin), d'après G. Zeil (*Annales de Géographie*, XVI, 1907, p. 432, fig. 2).

A Phan-Ngame; B. Dong-Khé; C. Kin-Hi; D. Xuan-Xa; E. Bac-Son. — 1. Directrice; 2. Anticlinal; 3. Synclinal; 4. Faille; 5. Lèvre affaissée; 6. Zone basculée; 7. Microgranite; 8. Granite.

observations tendent à indiquer que le bord de l'Alataou de Kouznetsk est renversé vers l'Ouest sur le terrain houiller de Kouznetsk, mais elles ne semblent guère suffisantes pour être absolument décisives[1] (III, 1re partie, p. 195).

1. I. P. Tolmatchev, *Voyage géologique dans l'Alataou de Kouznetsk pendant l'été de 1902*, r. (Isviest. Soc. Imp. Russe de Géogr., XXXIX, 1903, p. 390-436, 4 pl.); les observations de D. I. Bogdanov sur la partie sud-occidentale du bassin houiller de Kouznetsk (Verhandl. der Russisch-K. Mineralog. Gesellsch., 2. Ser., XVIII, 1883, p. 149-204, pl. IX-XIV, r.) ont été déjà mentionnées.

Il s'agit maintenant d'appliquer ces résultats, concernant l'existence fréquente de plissements à rebours, à l'*Europe*. La chaîne Timan-Kanin, au Nord, et les Dinarides, au Sud, continuent à présenter, jusque sur le sol européen, le déversement normal (*Vorfaltung*) vers le Sud. La ligne de l'Alaï, qui aboutit au Nord du horst d'Azov, affecte également une allure asiatique, et il en va de même pour les énigmatiques alignements de Karpinsky. Par contre, les lignes directrices venant du Caucase et passant au Sud de ce horst tournent, contrairement à ce que l'on observe pour les chaînes situées tant au Nord qu'au Sud, vers le Nord. Au début, il est vrai, on n'aperçoit d'abord que des chaînes posthumes (Balkans, etc.); mais elles ressemblent sous ce rapport aux Altaïdes Occidentales typiques, qui n'apparaissent pour la première fois que dans les Sudètes (III, 2e partie, p. 533).

A partir du horst d'Azov, toutes les Altaïdes Occidentales (y compris leurs annexes posthumes), jusqu'au Texas et à l'Oklahoma, se montrent plissées à rebours.

De ce fait découle toute une série de conséquences.

Les Montagnes Rocheuses procèdent des guirlandes insulaires, les Appalaches des Altaïdes; mais c'est seulement parce que les unes et les autres sont plissées à rebours, relativement au grand Édifice Asiatique, que *la Laurentia devient pour ces deux chaînes un avant-pays commun*, et qu'elle joue le même rôle par rapport à la Chaîne, déversée en avant, des Etats-Unis.

En même temps, il devient manifeste qu'à l'Est comme à l'Ouest, les rameaux libres plissés à rebours débordent plus largement sur la périphérie, — il s'agit des Montagnes Rocheuses à l'Est, et des Altaïdes Occidentales, à l'Ouest. Mais on voit *aussi qu'ils expirent plus tôt.*

Les Montagnes Rocheuses ont vu leurs plissements prendre fin dès l'époque crétacée supérieure : le contraste est donc absolu avec la Chaîne du Saint-Élie, qui continue encore à se former de nos jours[1]. Les rameaux des Altaïdes situés à l'extérieur du horst d'Azov sont devenus rigides dès avant l'époque permienne, tout en déterminant plus tard, d'ailleurs, dans les affaissements de l'Europe, l'apparition d'édifices posthumes, comme les Alpes. L'Oural du Nord est ancien, mais cette chaîne possède dans ses parties les plus méridionales des prolongements très récents. Tout le reste de la périphérie, de la Méditerranée jusqu'à la Chaîne du Saint-Élie, doit être considéré comme un véritable déversement (*Vorfaltung*), peut-être inachevé. En anticipant sur la suite de cet ouvrage, nous signalerons, comme confirmant toutes ces données, la disposition des volcans actifs.

[1. Voir III, 3e partie, p. 1180-1188.]

Il y a donc à la fois réduction de l'étendue sur laquelle la force orogénique se fait sentir et diminution de son intensité. L'arrière-pays n'est pas le point de départ d'une force active, donnant lieu à la formation de plis. Les couches cambriennes se montrent aussi peu dérangées dans l'arrière-pays de l'Angara que dans l'avant-pays de la Laurentia. Le plissement à rebours est un phénomène secondaire, résultant d'un excès d'ampleur de l'enveloppe planétaire.

Naturellement, en nous livrant à ces considérations, il n'y a pas lieu de tenir compte des plissements à rebours *forcés*, résultant d'une violente courbure des directrices, comme le fait se produit au voisinage des Portes-de-Fer et à la jonction des Alpes et des Apennins.

Analyse des arcs. — On peut, tout d'abord, considérer la structure des Antilles Tropicales. Là, il existe en avant de la moitié septentrionale une avant-fosse importante. Plusieurs arcs concentriques se succèdent ensuite, avec une grande régularité : d'abord une rangée d'îles tertiaires, puis une courte série de volcans éteints, l'arc des volcans actifs, et enfin la Cordillère[1]. Les arcs de l'Asie possèdent également une structure concentrique, dont l'ordonnance se reconnaît même quand les lignes s'écartent les unes des autres en dessinant une virgation.

Nous choisirons, pour les comparer aux Antilles, quatre types différents, savoir : les Philippines, les Iles Riou-Kiou, les Alaskides et les Iles Bonin.

1. Les *Philippines* (II, p. 278; III, 1re partie, p. 307, fig. 43) sont précédées à l'Est par une avant-fosse allongée, qui descend au-dessous de 7000 mètres[2]. Elles s'ouvrent vers le Sud en une virgation de cordillères[3], et entre leurs branches apparaissent plusieurs rangées de

[1. Voir I, p. 725-737; III, 3e partie, p. 1285-1292.]

[2. C'est dans cette avant-fosse, on le sait, que se trouve la plus grande profondeur actuellement connue (9780 m.); III, 3e partie, p. 1018.]

[3. Sur la géologie des Philippines, consulter : Warren D. Smith, *The Essential Features of the Geology of the Philippine Islands* (Philippine Journ. of Sc., V, Sec. A, 1910, p. 307-343, 4 fig., pl. I-VI, dont 3 cartes); reprod. abrégée sous le titre de *The Philippine Islands. with a Chapter on the Lithology, by* J. P. Iddings (*Handbuch der Regionalen Geologie*, herausgegeben von G. Steinmann und O. Wilckens, 3. Heft, Band VI, 5. Liefg.). In-8°, 24 p., 6 fig. dont 3 cartes, Heidelberg, 1910 (Bibliogr.). Voir aussi Warren D. Smith, *Contributions to the Stratigraphy and Fossil Invertebrate Fauna of the Philippine Islands* (Philippine Journ. of Sc., VIII, Sec. A, 1913, p. 235-300, pl. I-XX, dont 1 carte géol. générale, 1 carte des gisements fossilifères (tertiaires) de l'archipel, et 18 pl. paléont.); J. P. Iddings, *The Petrography of some Igneous Rocks of the Philippines* (Ibid., V, 1910, p. 155-170); F. T. Eddingfield, *Ore Deposits of the Philippine Islands* (Ibid., VIII, 1913, p. 81-105, 4 fig., pl. I-III : cartes); P. R. Fanning, *Contribution to the Metallogeny of the Philippine Islands* (The Mineral Resources of the Philippine Islands for the Year 1912. Issued by the Division of Mines, Bureau of Science. In-8°, Manila, 1913, p. 72-76); F. A. Dalburg, *The Coal Resources of the Philippine Islands* (The Coal Resources of the World. An Inquiry made upon the initiative of the

volcans[1]. La virgation (fig. 317) se poursuit à travers Mindanao[2] et s'éteint à l'intérieur de Célèbes et de Halmahera, suivant des directions qui sont perpendiculaires à celle de l'arc Birman[3].

Executive Committee of the XII International Geological Congress, Canada, 1913. Gr. in-8°, Toronto, 1913, I, p. 107-123, 4 fig. cartes); W. D. Smith, *The Geology of Luzon, P. I.* (Journ. of Geol., Chicago, XXI, 1913, p. 29-61, 7 fig. dont 3 cartes). — De nombreux travaux monographiques ont paru dans le *Philippine Journal of Science* (Section A), en cours de publication depuis 1906; voir notamment, sur Luçon : G. I. Adams, *Geologic Reconnaissance of Southwestern Luzon* (V, 1910, p. 57-116, 10 fig., pl. I-XIII et 2 cartes, dont 1 grande carte géol.); R. Hermann, *A Theory on the Formation of the Central Luzon Plain* (VI, 1911, p. 331-332 : un véritable *graben* séparerait les montagnes de Zambales du massif principal de l'Ile); G. I. Adams and W. E. Pratt, *Geologic Reconnaissance of Southeastern Luzon* (VI, 1911, p. 449-481, 4 fig., pl. I-VI, dont 1 carte géol.); W. D. Smith and F. T. Eddingfield, *Additional Notes on the Economic Geology of the Baguio Mineral District* (VI, 1911, p. 429-447, 2 fig., pl. I-III et 1 grande carte géol.; détails sur la « révolution miocène »); P. R. Fanning, *Geologic Reconnaissance of Northwestern Pangasinan* (VII, 1912, p. 255-281, 5 fig., pl. I-IV et 1 carte géol.); W. E. Pratt and W. D. Smith, *The Geology and Petroleum Resources of the Southern Part of Bondoc Peninsula, Tayabas Province, P. I.* (VIII, 1913, p. 301-376, pl. I-X, et 1 grande carte géol. en 2 feuilles avec coupes rabattues autour de leur trace : zone tertiaire plissée de la Péninsule du Sud); — sur Masbate : H. G. Ferguson, *Physiography of the Philippine Islands, III. Western Masbate* (IV, 1909, p. 1-16, pl. I-III : cartes); — sur Leyte et Samar : G. I. Adams, *Geological Reconnaissance of the Island of Leyte. With Notes and Observations on the adjacent smaller Islands and Southwestern Samar* (IV, 1909, p. 339-357, pl. I : carte géol.); — sur Cébu : W. D. Smith, *Contributions to the Physiography of the Philippine Islands. I. Cebu Island* (I, 1906, p. 1043-1059, pl. I-VIII).]

[1. Voir les travaux du P. M. Saderra Masó : *Volcanoes and Seismic Centers of the Philippine Archipelago* (Census of the Philippine Islands, 1903, Bull. 3, Washington, 1904. In-8°, 80 p., 17 fig.; repris dans l'ouvrage : *Census of the Philippine Islands, taken in the Year 1903.* In-8°, Washington, 1905, I, p. 184-259); *Catalogue of Violent and Destructive Earthquakes in the Philippines 1599-1909* (Weather Bureau Bull., Suppl., Manila, 1910). In-4°, 27 p., 2 cartes; M. Saderra Masó and Warren D. Smith, *The Relation of Seismic Disturbances in the Philippines to the Geologic Structure* (Philippine Journ. of Sc., VIII, Sec. A, 1913, p. 199-233, pl. I-III : cartes). Un résumé des travaux sur la séismologie des Philippines antériaires à 1905 est donné par F. de Montessus de Ballore, *Les Tremblements de Terre. Géographie séismologique.* In-8°, Paris, 1905, p. 431-441, fig. 80-82 : cartes. — L'un des plus célèbres volcans des Philippines est le Taal, dans le Sud de Luçon, dont la dernière éruption date du 30 janvier 1911; voir les rapports, accompagnés de belles photographies, de W. E. Pratt et Ch. Martin (Philippine Journ. of Sc., VI, Sec. A, 1911, p. 63-91, 21 pl. dont 3 cartes). Voir aussi Dean C. Worcester, *Taal Volcano and its Recent Destructive Eruption* (National Geogr. Magazine, Washington, XXIII, 1912, p. 313-367, 40 phot., 4 cartes, 1 coupe); et surtout le mémoire de M. Saderra Masó, *The Eruption of Taal Volcano, January 30, 1911.* In-4°, 45 p., 7 pl. dont 1 carte, Manila, Weather Bureau, 1911.]

[2. Warren D. Smith, *A Geologic Reconnaissance of the Island of Mindanao and the Sulu Archipelago, I. Narrative of the Expedition* (Philippine Journ. of Sc., Sec. A, III, 1908, p. 473-499, 4 fig., pl. I-XXIII, dont 4 cartes); *II. Physiography* (Ibid., V, 1910, p. 345-363, 5 fig., pl. I-VI, dont 2 cartes); *III. General and Economic Geology* (Ibid., VI, 1911, p. 359-395, 1 fig., pl. I-V, et 1 carte géol.).]

3. Pour Célèbes (III, 1re partie, p. 339), la source la plus importante, à côté des travaux de Wichmann, est le grand ouvrage de P. u. F. Sarasin, *Entwurf einer geographisch-geologischen Beschreibung der Insel Celebes.* In-4°, xi-344-28 p., avec appendice pétrographique par C. Schmidt, 14 pl., dont 3 cartes, Wiesbaden, 1901. La série des roches est la suivante : granite, gneiss, micaschistes, etc., puis calcaires cristallins, roches à Radiolaires, un peu de lignite, calcaires tertiaires anciens, enfin calcaires plus récents et argiles miocènes. Il existe en outre des roches à glaucophane, des péridotites, dunites, diabases, puis des trachytes et des roches à leucite, et enfin des volcans récents. L'hypothèse d'une double virgation est particulièrement appuyée par la présence de la direction N. et N.N.E. dans l'extrême Nord-

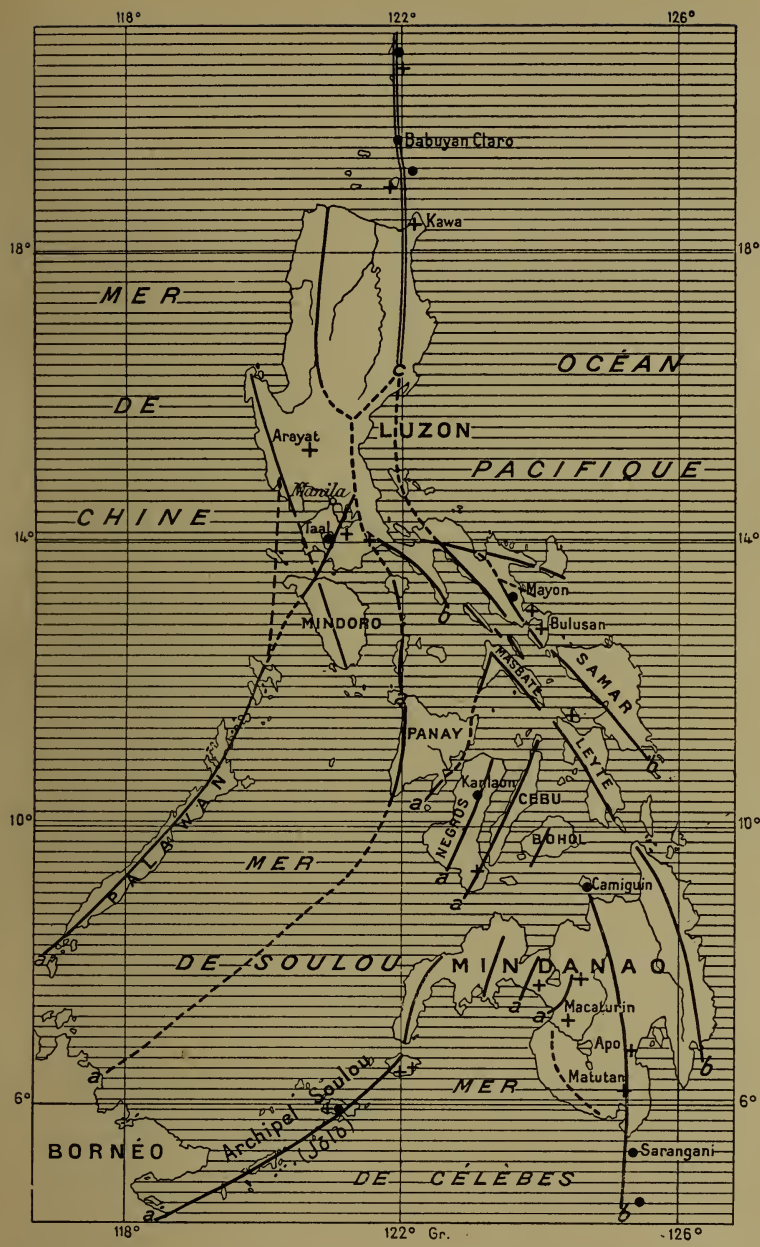


Fig. 317. — Directrices tectoniques des Iles Philippines, d'après Warren D. Smith et M. Saderra Masó (*Philippine Journal of Science*, vol. VIII, Sect. A, No. 4, 1913, pl. II; les volcans d'après Warren D. Smith, *Handbuch der Regionalen Geologie*, 3. Heft. In-8°, Heidelberg, 1910, p. 14, fig. 5).

aa. Série interne de G. F. Becker; *bb*. Série externe d°; *cc*. Alignement de la Sierra Madre (Luçon). Les petits cercles noirs représentent les volcans actifs, les croix les volcans éteints et les solfatares. Échelle de 1 : 12 000 000.

La branche interne, répondant aux Montagnes de Sarawak ou du Haut Kapoewas, dans le Nord de Bornéo (Trias et Crétacé plissés), délimite un grand massif étranger, qui occupe, entre les rameaux de la virgation, le Sud de cette île. A l'Ouest, Pontianak est situé dans les larges plaines d'alluvion du fleuve Landak. Au Nord de ce point, Wing Easton a trouvé du granite avec Cénomanien discordant, qui pourrait bien faire encore partie de ce massif singulier[1]. A l'Est, il est limité du côté de la Cordillère, d'après Molengraaff, par une fosse d'effondrement. Sur le bord méridional de cette fosse, du côté du

Ouest de l'île (III, 1re partie, p. 341). D'autre part, il est vrai, on doit noter l'interruption de cette Cordillère au voisinage de l'Équateur, et une observation de A. Wichmann, qui a trouvé les couches orientées N. 45° E. au Sud de cette coupure, par 0° 45′ environ de lat. S. (Tijdschr. k. Nederl. Aardrijksk. Genootsch., 2. ser., VII, 1890, p. 987). Ces faits indiqueraient une virgation unique, avec un point de départ au Nord-Est de Minahassa. La carte du Royaume de Moré, de Alb. C. Kruijt (Ibid., 2. ser., XVII, 1900, kaart. II), n'indique au fond de la Baie de Tomori (Mori) aucune inflexion des chaînes de la presqu'île du Sud-Est à la presqu'île du Nord-Est, alors qu'elle figure une déviation du même genre du Sud-Est au Nord (vers le Lac Posso). — Pour le Nord, voir G. A. F. Molengraaff, *Ueber die Geologie der Umgegend von Sumalatta auf Nord-Celebes und über die dort vorkommenden goldführenden Erzgänge* (Zeitschr. f. prakt. Geol., X, 1902, p. 249-257, carte géol. dans le texte). — Les montagnes volcaniques de Bowoulangi et le groupe volcanique du Pic de Bontaing occupent le sillon ou la fosse d'effondrement de la Vallée de Tempe. — [Sur la structure de Célèbes, voir aussi III, 3e partie, p. 1019; et surtout le grand ouvrage de J. Ahlburg, *Versuch einer geologischen Darstellung der Insel Celebes* (Geol. u. Palaeontol. Abhandl., Neue Folge, XII (der ganzen Reihe XVI), Heft 1, Jena, 1913. In-4°, 172 p., 7 flg., 11 pl. dont 1 grande carte géol. à 1 : 1 500 000, 1 carte géol. du Golfe de Tomini à 1 : 400 000, 3 cartes schématiques et 1 pl. de coupes; renferme une bibliographie de 175 articles). Consulter en outre : H. v. Staff, *Zum Problem der Entstehung der Umrissform von Celebes* (Zeitschr. Deutsch. Geol. Gesellsch., LXIII, 1911, Monatsber., p. 180-186); J. Ahlburg, *Zur Umrissform der Insel Celebes* (Ibid., p. 399-405); E. C. Abendanon, même titre (Ibid., LXIV, 1912, Monatsber., p. 266-277, 1 carte dans le texte, et p. 513-516; P. Sarasin, *Zur Tektonik von Celebes* (Ibid., LXIV, 1912, Monatsber., p. 226-245).]

1. N. Wing Easton, *Geologie eines Teiles von West-Borneo nebst einer kristischen Uebersicht des dortigen Erzvorkommens*. In-8°, xv-542 p., 1 pl., atlas in-4° de 21 pl., et in-folio de 13 pl., dont 11 cartes. Batavia (Jaarb. v. h. Mijnwezen in Nederl. Oost-Indië, XXXIII, Wetensch. Ged., 1904). — Pour le Cénomanien transgressif, voir P. G. Krause, *Die Fauna der Kreide von Temojoh in West-Borneo* (Sammlungen geol. Reichsmus. in Leiden, Ser. I, VII, n° 1, 1902, p. 1-28, pl. I, II). Les lignes directrices des plissements dans les couches pétrolifères de la Baie de Brunei à Labuan ont été étudiées par C. Schmidt : *Ueber die Geologie von Nordwest Borneo und eine daselbst entstandene 'Neue Insel'* (Gerland, Beitr. z. Geophysik, VII, 1904, p. 121-136, pl. VI : carte géol. [reprod. ci-contre, flg. 318]). [Sur la géologie de Bornéo, voir III, 1re partie, p. 322-339; pour une Bibliographie complète des travaux consacrés à la structure de cette grande île, consulter le précieux répertoire de R. D. M. Verbeek, *Opgave van Geschriften over Geologie en Mijnbouw van Nederlandsch Oost-Indië*. Gr. in-8°, 's-Gravenhage, 1912, p. 151-169, nos 1640-1898. Un exposé d'ensemble sur l'histoire de ses chaînes de montagnes est donné par G. A. F. Molengraaff, *On Oceanic Deep-sea Deposits of Central-Borneo* (Proc. Royal Acad. Sc., Amsterdam, XII, 1909, p. 141-147, 1 carte, reprod. ci-après, flg. 319). — Sur la paléontologie de Bornéo, voir : F. Vogel : *Beiträge zur Kentniss der mesozoischen Formationen in Borneo* (Samml. Geol. Reichs-Mus. in Leiden, Ser. I, Bd. VII, 1902, p. 208-220, pl. VIII : découverte du Trias au S. E. de Kendai); P. G. Krause, *Ueber unteren Lias von Borneo* (Ibid., Bd. IX, 1911, p. 77-83, pl. VII); H. Icke und K. Martin, *Die Silatgruppe, Brack- und Süsswasser-Bildungen der Oberen Kreide von Borneo* (Ibid., Bd. VIII, 1906, p. 106-144, pl. VII-IX, dont 1 carte); H. Douvillé, *Les Foraminifères dans le Tertiaire de Bornéo* (Bull. Soc. Géol. de France, 4e sér., V, 1905, p. 435-464, pl. XIV).]

massif en question, se trouvent les volcans éteints des Monts Müller[1].

2. *Iles Riou-Kiou.* — Tandis que la direction qui caractérise le Sud de Honshiu continue à régner dans le Sud de Kiou-Siou, elle se montre recoupée dans cette île par la ligne volcanique de l'arc des Riou-Kiou (fig. 320), qui pénètre jusque-là. Telle est, comme on l'a vu, la significa-

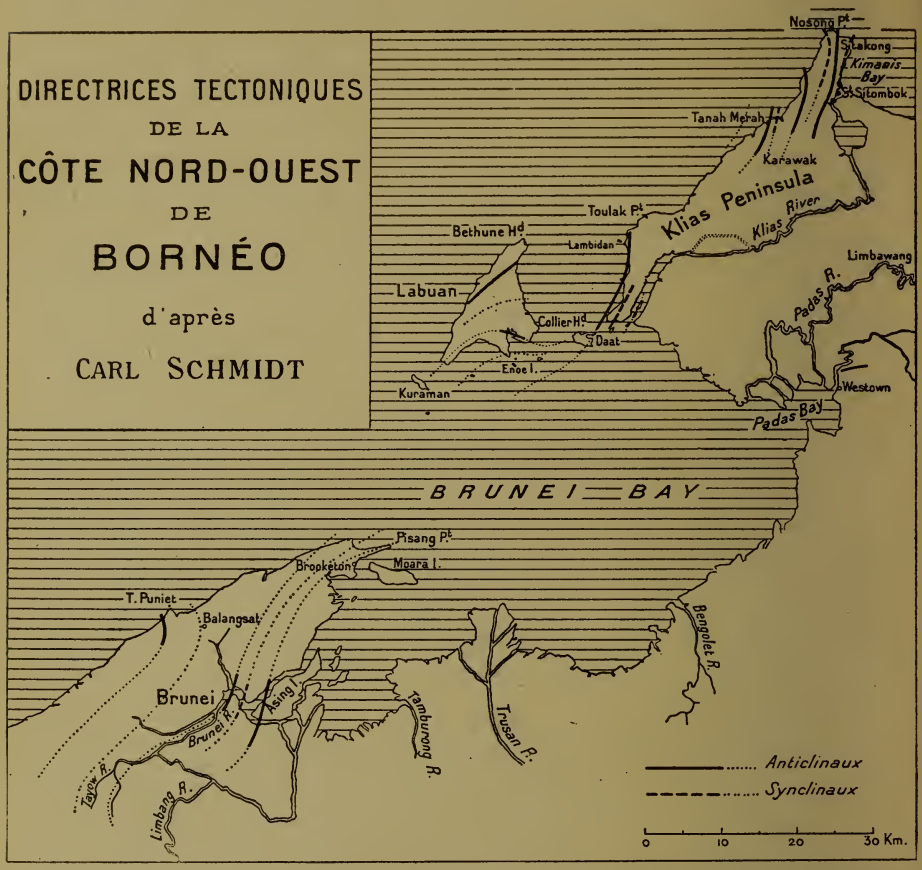


FIG. 318. — Directrices tectoniques de la Côte Nord-Ouest de Bornéo, d'après C. Schmidt (*Beiträge zur Geophysik*, VII. Bd., 1. Heft, 1904, pl. VI).

Échelle de 1 : 1 000 000.

tion de la Baie de Kagoshima, de l'effondrement circulaire par lequel elle se termine, du volcan Sakura[2] sur le bord de cette dépression, puis,

[1. Voir les travaux de J. Schmutzer : *The mineralogical and chemical composition of some rocks from central Borneo* (Proceedings Wis.-en Nat. Afd. Kon. Akademie van Wetenschapen te Amsterdam, 31 October 1908, p. 398-415); *Bijdrage tot de kennis der postcenomane hypoabyssische en effusieve gesteenten van het westelijk Müller-gebergte in Centraal-Borneo.* Proefschrift. In-8°, XI-213 p., 26 fig. dont 4 cartes, 2 pl. Amsterdam, 1910; *Die vulkanischen Gesteine des westlichen Müllergebirges in Zentral-Borneo* (Centralbl. f. Min., 1911, p. 321-327).]

[2. Sur la grande éruption du Sakurashima survenue en janvier 1914, voir : Oseki,

dans l'intérieur des terres, du volcan Kirishima. Mais encore plus au Nord, près de Kumamoto, et aussi dans la partie occidentale des Iles Amakusa, situées au Sud-Ouest de cette ville, les terrains anciens se

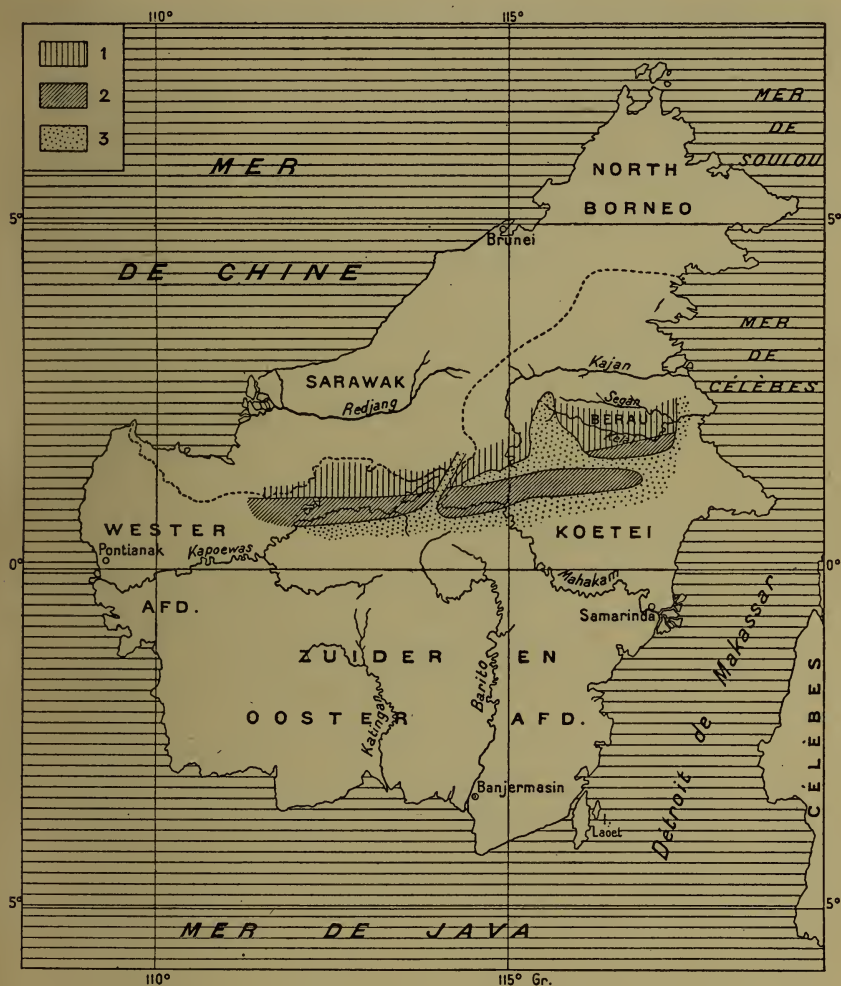


FIG. 319. — La Chaîne Centrale de Bornéo, d'après G. A. F. Molengraaff (*Proc. Royal Acad., Amsterdam*, XII, 1909, p. 146).

1. Schistes anciens; 2. Dépôts de mer profonde d'âge jurassique (« Danau-formation »); 3. Sédiments tertiaires et produits volcaniques. — Échelle de 1 : 12 000 000.

montrent déviés vers le N. ou le N. W.; et dans le Nord de Kiou-Siou, les couches tertiaires jalonnent de longs alignements tectoniques

Der Vulkanausbruch auf Japan (Zeitschr. Gesellsch. f. Erdkunde, Berlin, 1914, p. 151-153, Abb. 7); N. Yamasaki, *Der Ausbruch des Vulkans Sakurashima im Januar* 1914 (Ibid., p. 295-302, 1 carte dans le texte); K. Nishio, Imm. Friedländer, *Der verheerende Ausbruch des Vulkans Sakurajima im Süden der japanischen Insel Kiushiu* (Petermanns Mitteil., LX, 1914 (1), p. 132-133, pl. 24-26 : cartes et photogr.).]

post-tertiaires, orientés N.-S. et recoupant en biais la direction principale. Ces alignements sont attribués hypothétiquement, par les géologues japonais, à l'influence des Riou-Kiou[1].

Le Centre et le Sud de la Corée sont d'âge très ancien. Quelques plis, orientés E.N.E. ou N.E., y existent, mais le rôle principal revient aux cassures plus récentes (fig. 321).

Un grand fossé part de Gensan, sur la côte Est, par 39° de lat. environ, et s'élargit à tel point vers le S.S.W., que son bord septentrional atteint la côte Ouest par 37° 50′, tandis que son bord méridional descend jusqu'à 36°. Des basaltes récents occupent ce fossé. La partie de la Corée située au Nord-Ouest, — le « Paléo-Chyo-Syön » de Kôtô, — est morcelée en un grand nombre de voussoirs. Au Sud-Est dominent des lignes de fractures, qui dessinent une virgation partant de Gensan ou d'un point situé plus au Nord. L'une de ces cassures forme la plus grande partie de la côte orientale, qui est disposée en arc de cercle; trois longues failles parallèles lui succèdent; d'autres s'écartent dans la direction du Sud-Ouest, et la côte méridionale de la Corée devient une côte à rias. Ces longues cassures sont des lignes disjonctives dans une virgation, qu'il y a lieu peut-être de rattacher aux zones internes des Riou-Kiou[2].

On a vu précédemment (II, p. 286) que l'arc des Riou-Kiou consiste en une Cordillère externe, rocheuse, et une zone volcanique interne. L'analogie avec les Antilles tropicales va même plus loin, car il existe en outre, extérieurement à la Cordillère, un arc de couches tertiaires.

La zone la plus interne s'étend, à partir des volcans du Sud-Ouest de Kiou-Siou, par l'Iwô-Shima jusqu'au Tori-Shima, etc., enfin jusqu'au volcan Taïton, à la pointe Nord de Formose[3]. La deuxième zone est une Cordillère montagneuse; les îles appelées Yaku, O, Tokuno- et Okinawa-Shima, et enfin Miyako-Shima en représentent les tronçons

1. *Outlines of the Geology of Japan*; *Descriptive Text to accompany the Geological Map of the Empire on the Scale of* 1 : 1 000 000 (Geol. Survey of Japan). In-8°, Tokyo, 1902, p. 26, 76, 102.

2. B. Kotô, *An Orogrophic Sketch of Korea* (Journ. College of Sc., Imp. Univ. Tokyo, XIX, Art. 1, 1903, p. 1-61, 4 pl. dont 1 carte), [Consulter en outre, pour le Sud de la presqu'île coréenne, l'important mémoire complémentaire de B. Kotô, *Journeys through Korea. First Contribution* (Ibid., XXVI, Art. 2, 1909, p. 1-207, pl. I-XXXVI, dont 2 feuilles de coupes et 1 carte géol. à 1 : 1 500 000).] Voir aussi Kinosuké Inouyé, *Geology and Mineral Resources of Korea* (Mem. Geol. Survey of Japan, I, n° 1, 1907, 91 p., 1 carte). Une montagne conique isolée d'andésite, au milieu de la côte à Rias, est remarquable; E. Sagawa, *Kôjô Island, Corea* (Bull. Geol. Survey of Japan, XIV, 1901, p. 31-50, 1 carte; en japonais; 128°32′ long. E.). [Voir aussi K. Inouye, *The Coal Resources of Corea* (dans l'ouvrage : *The Coal Resources of the World*... Toronto, 1913, I, p. 215-237, 11 fig., et Atlas, Maps 10, 11).]

3. F. von Richthofen, *Geomorphologische Studien aus Ostasien. III. Die morphologische Stellung von Formosa und den Riukiu-Inseln* (Sitzungsber. K. Preuss. Akad. Wiss. Berlin, 1902, II, p. 944-975, pl. III : carte [reprod. ci-contre, fig. 320]).

principaux. Des couches paléozoïques s'y montrent inclinées vers l'Ouest, et par suite probablement renversées vers l'Océan, comme dans le Sud de Honshiu. La troisième zone est formée en partie de

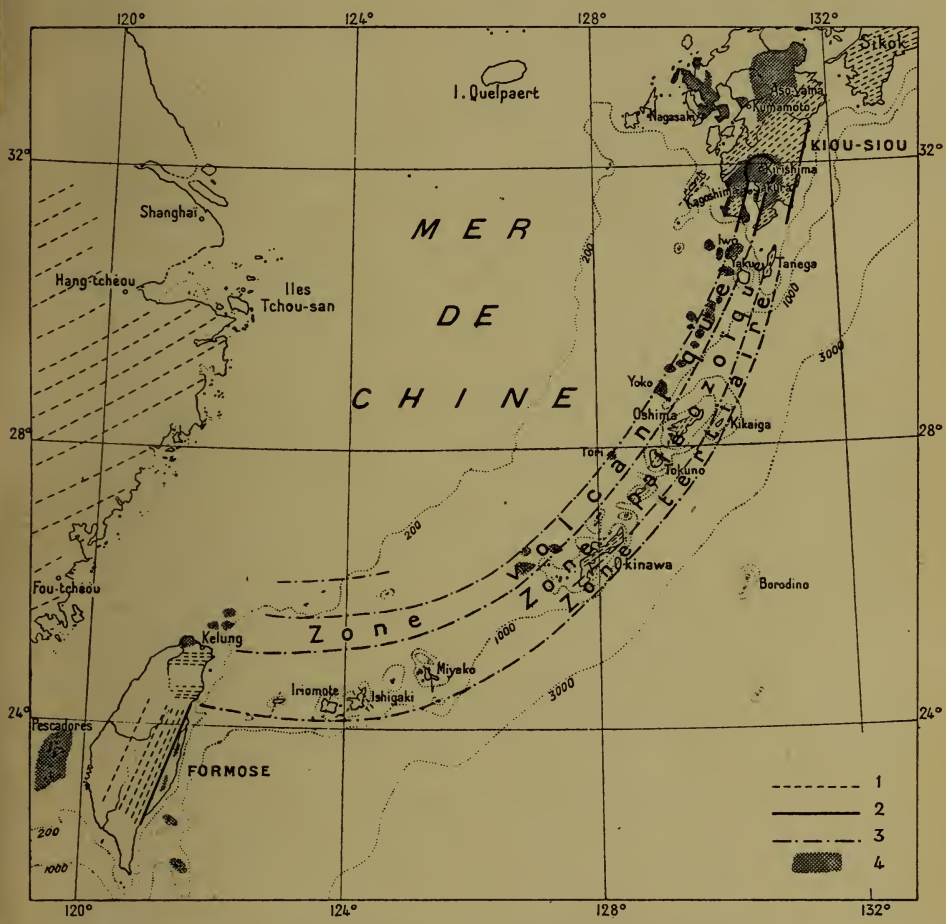


FIG. 320. — L'arc des Riou-Riou, d'après F. von Richthofen (*Sitzungsberichte der k. Preuss. Akademie der Wissenschaften zu Berlin*, 1902, pl. III).

1. Direction des terrains; 2. Principales fractures; 3. Limites probables des zones tectoniques; 4. Roches volcaniques récentes. — Échel'e de 1 : 12 000 000.

calcaires à Lépidocyclines; Tanega- et Kikaiga-Shima, puis l'extrémité méridionale d'Okinawa-Shima, etc., lui appartiennent.

Dans le groupe méridional des Iles Yaeyama, Ishigaki appartient à la Cordillère; néanmoins, il y existe aussi de l'andésite et une montagne volcanique, le Nosoko, dont la situation rappelle celle des volcans éteints des Antilles, qui se trouvent plus à l'extérieur. Iriomote est du Tertiaire plissé. Il est probable que, là, l'influence des Phi-

lippines se manifeste déjà par la présence de tronçons orientés N.N.E.[1].

3. *Alaskides* (III, 3e partie, p. 1090). — En dedans de l'avant-fosse vient une Cordillère formée probablement de roches très anciennes, accompagnées vers le Sud de sédiments analogues au Flysch, et aussi de couches tertiaires plissées, dont une partie renferme du pétrole (Monts Kenai et Chugatch). — En dedans de cette chaîne se trouve le fossé du Détroit de Shelikof et du Cook Inlet, avec couches jurassiques et tertiaires, lignes disjonctives et arc volcanique. En dedans des volcans vient la cordillère principale (Monts de l'Alaska), accompagnée de rameaux secondaires. — Un fragment étranger s'intercale entre les branches de la virgation (Presqu'îles Seward et des Tchouktches). — Une dernière cordillère, du côté concave, se montre plissée à rebours (Monts Roumanzov).

4. *Iles Bonin* (III, 1re partie, p. 187; III, 3e partie, p. 1013). — C'est du profond accident qui traverse Honshiu que part la rangée des volcans de Schichito[2]. Elle prolonge l'alignement occidental, volcanique, des Iles Bonin, que précède à l'Est une seconde chaîne d'îles formée de sédiments tertiaires, la chaîne d'Ogasawara. Cette dernière n'est d'ailleurs connue que de 27° 40′ à 26° 38′ de lat. N.

Ces quatre types présentent en commun une certaine allure et une certaine succession, qui se répètent à l'absence près de certains éléments. Le premier terme, du côté convexe, est l'avant-fosse; le deuxième correspond à un liséré tertiaire, souvent plissé et fréquemment caractérisé par la présence de couches à Lépidocyclines (rangée externe des Riou-Kiou, chaîne d'Ogasawara dans les Iles Bonin). Puis viennent les Cordillères plissées, dont la plus interne est parfois affectée d'un plissement à rebours (Monts Roumanzov), et qui parfois aussi s'écartent en dessinant une virgation (Philippines, Alaskides). Enfin se

1. S. Yoshiwara, *Notes on the Raised Coral-Reefs in the Islands of the Riukiu Curve* (Journ. College of Sc., Imp. Univ. Tokyo, XVI, Art. 1, 1901, p. 1-14, pl. I, II, dont 1 carte); le même, *Geologic Structure of the Riukiu (Loochoo) Curve, and its Relation to the Northern Part of Formosa* (Ibid., Art. 2, p. 1-67, pl. I-V, dont 4 cartes); R. B. Newton and R. Holland, *On some Fossils from the Islands of Formosa and Riu-Kiu* (Ibid., XVII, Art. 6, 1902, p. 1-23, pl. I-IV).

2. M. Ogawa m'annonce qu'il a observé sur le haut Teurim, à l'Ouest des Monts Akaishi, des recouvrements du gneiss sur les terrains plus récents dans la direction du S.E., c'est-à-dire vers cet accident (la *Fossa magna*), et que le Dr Suzuki a retrouvé des recouvrements analogues plus au Sud, auprès d'Aoki.

LÉGENDE DE LA FIGURE 321.

1. Plis du Système Sinien; 2. Système du Liao-tung; 3. Accidents anciens du Nord-Est de la Corée (Kai-ma); Système Coréen : 4. Thai-päik-san et 5. Syo-päik-san; 6. Failles du Han-san; 7. Système du « Paléo-Chyo-syön »; 8. Chaîne du Chyang-päik-san et *graben* de Séoul. Les crans indiquent le regard des accidents. Le pointillé représente les plaines d'alluvion. — Échelle de 1 : 5 000 000.

Fig. 321. — Esquisse tectonique de la Corée, d'après B. Kotô (*Journal of the College of Science, Imperial University of Tokyô*, vol. XIX, Art. 1, 1903, pl. IV).

présente l'arc volcanique. *Il est toujours situé dans la Cordillère, et même dans la zone du déversement externe* (Vorfaltung), jamais dans la zone plissée à rebours et jamais non plus dans l'avant-fosse. Aux Phillipines, plusieurs lignes volcaniques suivent la virgation. Aux Riou-Kiou, les lignes disjonctives paraissent pouvoir être suivies jusqu'en Corée. Parfois, des fragments étrangers se montrent entre les rameaux de la virgation (Sud de Bornéo, Presqu'îles Seward et des Tchouktches [1]).

La même disposition est également réalisée dans les Antilles Tropicales, où il ne manque que des cordillères à l'intérieur de la zone des volcans. En principe, les cordillères tendent à disparaître tout d'abord, comme c'est le cas aux Iles Bonin, tandis que les volcans persistent le plus longtemps, comme on le voit dans les Iles Aléoutiennes.

Arcs des Océanides. — Ce qui vient d'être dit explique la structure des Océanides. On sait depuis longtemps que, dans la direction de l'Océan, les roches anciennes deviennent rares. C'est un témoignage de la disparition de la Cordillère. Tantôt, il ne reste que la bordure tertiaire avec les volcans, comme aux Nouvelles-Hébrides [2]; tantôt, la bordure tertiaire subsiste presque seule, comme aux Tuamotu [3]; ailleurs, une chaîne de volcans indique seule au milieu de l'Océan le tracé de la ligne directrice, comme aux Iles Hawaii [4].

La virgation partant de la Nouvelle-Zélande [5] montre nettement, suivant les alignements Nouvelle Calédonie-Nouvelle Guinée-Nouvelles Hébrides-Nouveau Mecklembourg et Iles Gilbert-Iles Carolines, la disparition graduelle des cordillères; et la possibilité que Viti Levu représente un massif ancien, étranger à la cordillère et compris entre les branches de la virgation, devient plus facile à concevoir [6]. En avant de la façade orientale de l'édifice se trouve l'avant-fosse des Kermadec et des Tonga [7].

Les Mariannes [8] se rattachent aux Carolines par enchaînement; il en est de même pour les traces de l'Archipel Raroia [9] vis-à-vis des Tuamotu.

Il n'existe aucune différence fondamentale d'allure entre l'arc des Antilles tropicales, les guirlandes insulaires de l'Asie et les Océanides.

[1. Voir III, 3e partie, p. 1102-1111 et fig. 248.]
[2. III, 3e partie, p. 1041-1044.]
[3. III, 3e partie, p. 1053-1056.]
[4. III, 3e partie, p. 1056-1059.]
[5. III, 3e partie, p. 1050.]
[6. III, 3e partie, p. 1047-1049.]
[7. III, 3e partie, p. 1023, et fig. 238, p. 1051.]
[8. III, 3e partie, p. 1013-1019.]
[9. III, 3e partie, p. 1054.]

Mais on doit se rappeler, à ce propos, que cette structure n'est pas reconnaissable au-delà des Iles Hawaii et des Iles Marquises, et qu'au delà de ces îles, en allant vers l'Amérique du Sud, s'intercale une région dans laquelle les îles sont rares et où elles tendent à se disposer en groupes, plutôt qu'en séries linéaires.

Analyse de l'Édifice Andin. — Ici, la comparaison devient beaucoup plus difficile, à cause de la présence simultanée d'une avant-fosse orientale et d'une avant-fosse occidentale.

L'avant-pays compris entre les Antilles Tropicales et les Antilles Australes n'est pas coupé en arc de cercle; mais il ne s'oppose pas non plus au puissant mouvement venant de l'Ouest, car il se montre lui-même affecté de plis et d'écailles, sur une largeur notable, en Bolivie et dans l'Argentine [1]. La Cordillera de la Costa, de la direction de laquelle vient le mouvement, et qui pourrait être regardée, si l'on s'en tenait aux idées anciennes, comme la chaîne centrale, présente, par un contraste absolu avec une règle très générale, des plantes fossiles du Keuper et du Lias, et à l'extrême Sud du Jurassique moyen, comme si cette zone, sur de longues distances, avait fait partie à ces époques d'un continent ou d'une ligne de rivages [2]. En outre, on doit noter à ce propos un fait encore inexpliqué, c'est qu'au Nord, dans l'Orégon méridional, des couches à empreintes végétales du Jurassique moyen sont associées à des roches abyssales à Radiolaires, appartenant probament au Jurassique supérieur [3]. Ces dernières prennent part à la constitution des Coast Ranges de Californie, que nous avons considérées, dans cet ouvrage, comme faisant partie des Andes [4].

Plus on étend ces comparaisons vers le Nord, et plus l'identité de certains caractères des Andes et de la Chaîne Intermédiaire devient frappante. C'est, d'abord, la fréquente association des dépôts marins mésozoïques et des volcans récents, puis le retour multiple de longues traînées de granodiorite; on ne doit pas oublier, d'ailleurs, que l'activité volcanique remonte, dans l'Amérique Méridionale, jusqu'au Jurassique moyen ou au Lias [5], et dans les Iles Aléoutiennes jusqu'à l'étage volgien ou au Callovien [6].

Dans le fossé volcanique des Aléoutiennes, on trouve déjà la même série de couches mésozoïques qu'en Californie, avec la même discordance à la base du Néocomien. Ces formations se prolongent dans l'Interior Plateau et dans les Basin Ranges, où elles constituent une

[1. Voir III, 3e partie, p. 1306-1314.]
[2. III, 3e partie, p. 1314-1321.]
[3. III, 3e partie, p. 1209.]
[4. III, 3e partie, p. 1214.]
[5. III, 3e partie, p. 1316.]
[6. III, 3e partie, p. 1126.]

région plissée, découpée en un grand nombre de horsts et de fossés de direction subméridienne, dont il suffira de rappeler un exemple, celui de la Death Valley (190 kilomètres de long, altitude s'abaissant jusqu'à 123 mètres au-dessous du niveau de la mer[1]). Dans sa partie la plus large, cette région est limitée à l'Est par l'escarpement des Monts Wasatch, et à l'Ouest par la falaise orientale de la Sierra Nevada, comme si tout l'ensemble compris entre ces deux « lignes de faiblesse » sur une largeur de 600 à 700 kilomètres, s'était effondré suivant une série de bandes parallèles (I, p. 786).

Plus au Sud, à partir de l'Arizona, cette zone se rétrécit ou même disparaît. Elle se montre de nouveau dans le Mexique, où l'on retrouve la série mésozoïque, les longs plis, orientés cette fois vers le S.E., les cassures, les épanchements volcaniques et les « Bolsons » ou bassins sans écoulement. L'on arrive ainsi à l'Océan Atlantique, tandis qu'au Sud les volcans géants du Mexique jalonnent l'inflexion de la Sierra Madre[2].

Plus au Sud encore, l'on atteint la « Depresión Central » de l'État de Chiapas, avec le volcan Zontehuitz, que Böse compare au Lac de Nicaragua[3], puis viennent les volcans du Guatemala. La Cordillère qu'on doit regarder comme prolongeant la Sierra Madre, s'infléchit vers Cuba et la Jamaïque. Au Guatemala, les volcans ne suivent pas cette inflexion, mais continuent vers le Sud-Est[4] : d'après Sapper, plusieurs rangées alternantes s'étendent jusqu'au Costa Rica. L'un de ces alignements, du Volcan Coseguina au Volcan Madera (Lacs de Managua et de Nicaragua), correspond à un fossé[5].

Aux Antilles, on ne connaît rien de semblable. Sur le continent, il existe probablement un fossé entre Cumana et le Golfe de Paria[6]; la vallée du Rio Magdalena a été également décrite comme répondant à un effondrement linéaire[7]. A l'intérieur de la zone volcanique, on signale fréquemment la disposition des bouches ignivomes en lignes droites, ainsi que la présence de failles doubles, comme près d'Antofagasta et jusqu'au Lonquimay[8], et aussi, en dehors de cette zone, dans les Andes Argentines. Plusieurs de ces fossés, tout comme dans les Basin Ranges, ont une longueur qui dépasse 100 kilomètres, sur 8 à 9 kilomètres seulement de large.

[1. Voir III, 3e partie, p. 1222.]
[2. III, 3e partie, p. 1232-1256.]
[3. III, 3e partie, p. 1266, et fig. 289, p. 1271.]
[4. III, 3e partie, fig. 288, p. 1267.]
[5. III, 3e partie, fig. 290, p. 1277.]
[6. III, 3e partie, p. 1293.]
[7. III, 3e partie, fig. 293, p. 1297.]
[8. III, 3e partie, fig. 300, p. 1322.]

Au Nord, à l'Ouest du rebroussement, dans la région du Cook Inlet, la présence de couches d'eau douce appartenant à l'étage de Kenai permet de conclure qu'à l'époque tertiaire, un lac long et étroit, séparé de le mer, occupait la fosse correspondante[1]. Au Sud, bien loin de Kenai, le gypse qui, dans la zone des volcans, s'intercale dans le terrain jurassique, conduit à une conclusion analogue. Là aussi, des nappes d'eau séparées de l'Océan Pacifique, ou ne communiquant qu'imparfaitement avec lui, ont existé jadis sur l'emplacement occupé aujourd'hui par la puissante Cordillère des Andes. Schiller a réuni les faits connus sur ces gypses. Ils apparaissent dès 23° de lat. S., près de Caracoles[2], au-dessus du Callovien, se répètent peut-être dans le terrain crétacé, sont mieux connus plus au Sud, notamment aux environs de l'Aconcagua, où ils se montrent compris entre le Callovien et le Malm, et montent, dans le Territoire du Neuquen, jusque dans la partie moyenne du Malm[3].

La distance de Caracoles au Neuquen est de près de 16 degrés en latitude.

Deux mémoires importants de Burckhardt ont fait connaître la région comprise entre 32° et 39°. Sur cette longue distance, un conglomérat porphyrique très développé atteint, dans la partie occidentale des Andes, une grande épaisseur, tandis qu'à l'Est il est remplacé par du grès. Ces deux roches, le conglomérat et le grès, s'intercalent directement au-dessus du gypse et sont par conséquent d'âge jurassique supérieur. Burckhardt en conclut qu'à cette époque, il existait un golfe marin long et étroit, en forme de fossé, et analogue à la Mer Rouge[4]; ce golfe était bordé à l'Ouest par un continent aujourd'hui submergé, d'où proviennent les cailloux de porphyre[5].

A tous ces accidents longitudinaux s'ajoutent les deux vallées longitudinales du Sacramento et du Chili. Les grands fonds qui longent la côte à l'Ouest et qui, entre Antofagasta et Copiapó, descendent jusqu'au de là de 7600 mètres[6], sont indépendants des volcans, mais ne cadrent pas, du moins à ce qu'il semble, avec la série habituelle.

Toute cette zone est également plissée; jusqu'à l'avancée des ter-

[1. Voir III, 3e partie, p. 1128-1130.]

[2. III, 3e partie, p. 1315.]

3. W. Schiller, *Geologische Untersuchungen bei Puente del Inca, Aconcagua* (Neues Jahrb. f. Min., Beilage-Bd. XXIV, 1907, p. 722, note 2).

[4. Voir la carte reproduite au t. III, 3e partie, p. 1317, fig. 297.]

5. C. Burckhardt, *Traces géologiques d'un ancien continent pacifique* (Revista del Museo de La Plata, X, 1902, p. 177-193, pl. 1 : carte); le même, *Beiträge zur Kenntniss der Jura- und Kreideformation der Cordillere* (Palaeontographica, L, 1903, p. 1-137, pl. I-XVI, 1 carte; en particulier p. 124 et suiv.). Steinmann pense que les volcans auraient suffi à eux seuls pour fournir les matériaux du conglomérat (Neues Jahrb. f. Min., 1902, II, Referate, p. 429).

[6. Voir III, 3e partie, p. 1359.]

rains anciens de l'Arizona, à peu près, le mouvement, dans les Basin Ranges, en tant du moins qu'on peut y reconnaître des traces de dissymétrie, est dirigé vers l'Ouest[1]. Puis, dans le Nord du Mexique, il tourne à l'Est ou au Nord-Est. Cette direction domine également dans les Andes Argentines. Si ces chaînes étaient plissées vers l'Ouest, ou s'il y avait lieu de les considérer comme résultant d'un plissement à rebours, l'Est deviendrait un arrière-pays normal, le Golfe d'Arica un rebroussement normal, et les profonds sillons de la côte Ouest joueraient le rôle d'avant-fosses normales. Mais cette vue est contredite par les témoignages de l'existence d'un continent mésozoïque le long de la Cordillera de la Costa, de même que par les observations de Steinmann et de ses collaborateurs et par celles des géologues argentins, qui signalent presque partout des poussées vers l'Est[2].

Parties méridionales et occidentales de l'Édifice Asiatique. — La périphérie de cet édifice a été divisée comme suit : 1° la Chaîne des États-Unis; 2° tout l'Est jusqu'à la Mer de Banda; 3° comme équivalent de ce deuxième terme, à l'Ouest, les Ouralides; puis, s'avançant au delà de la périphérie, les longs rameaux libres des Altaïdes, c'est-à-dire : 4° les Altaïdes Orientales (Arc Birman), et 5° les Altaïdes Occidentales; enfin 6° les trois arcs de bordure internes (de l'Himalaya aux Dinarides). Reprenons la série dans le même ordre.

Dans les *Ouralides* (3), la Novaïa Zemlia s'enchaîne avec l'Oural (III, 1re partie, p. 496, fig. 82). Dans tout le Nord, la date des mouvements est ancienne; dans le Sud, au contraire, les Erghéni sont de date récente, et rappellent la façon dont se terminent les branches libres de l'Asie Orientale. Le phénomène de la disjonction y est inconnu[3].

L'*Arc Birman* (4) présente des affinités très nettes avec les arcs orientaux. Au Sud, il est précédé d'une avant-fosse dont la profondeur

[1. La présence dans les Monts Wasatch de charriages dirigés de l'E. à l'W. a été confirmée par F. F. Hintze, *A Contribution to the Geology of the Wasatch Mountains, Utah* (Annals New York Acad. Sc., XXIII, 1913, p. 85-143, pl. I-VI, dont 2 cartes; bibliogr.), et G. F. Loughlin, *Reconnaissance in the Southern Wasatch Mountains, Utah* (Journ. of Geol., Chicago, XXI, 1913, p, 436-452, 4 fig., dont 3 cartes). Pour un exemple de mouvement en sens contraire (Taylorville, Californie), voir plus haut, III, 3e partie, p. 1257, note 1.]

[2. Voir le t. III du présent ouvrage, 3e partie, p. 1320.]

3. Sur cette question, voir aussi L. Duparc, L. Mrazec et F. Pearce, *Sur l'existence de plusieurs mouvements orogéniques successifs dans l'Oural du Nord* (C. R. Acad. Sc. Paris, CXXXVI, 1903, 1er sem., p. 629-631). La représentation du Kvarkouch et de la Chaîne du Basségi donnée au t. III du présent ouvrage (1re partie, p. 485, fig. 80) devra subir quelques modifications; L. Duparc et F. Pearce, *Recherches géologiques et pétrographiques sur l'Oural du Nord*, II (Mém. Soc. de Physique et d'Hist. Nat. Genève, XXXIV, 1905, p. 557-561). [Pour un tableau d'ensemble des plis de l'Oural, voir les feuilles suivantes, récemment publiées, de la *Carte géologique internationale de l'Europe* à 1 : 1 500 000 : 6 (Fi), 13 (Fii), 14 (Gii) et 21 (Giii), Berlin, 1909, 1913. Auteurs : Backlund, Karpińskv, Krasnopolsky, Krotov, Nikitin, Tikhonovitch, Tschernyschew, Wyssotzky.]

mesure 7 000 mètres. Quelques îles tertiaires (Mentawei, etc.)[1] lui font face; la zone disjonctive volcanique la plus longue et la plus régulière que l'on connaisse sur le globe l'accompagne jusqu'à une grande distance dans l'intérieur des terres. Toutefois, il se distingue des arcs de l'Asie Orientale par la convexité de sa branche principale, qui est tournée vers l'Ouest ou le Sud-Ouest, tandis que dans l'Annam quelques branches internes, s'écartant de ce tronc commun, s'emboîtent dans la direction des Philippines. La séparation est déterminée par la présence du massif du Cambodge, qui vient s'intercaler dans l'intervalle. L'extrémité libre est orientée, non vers le Sud ou le Sud-Ouest, mais vers l'Est et sa direction présente, vis-à-vis des Philippines et de Célèbes, un contraste analogue à celui qu'offre le Caucase par rapport aux Erghéni[2].

Les *Altaïdes Occidentales* (5) s'éloignent de la périphérie en projetant des rameaux libres, plus allongés encore que ceux des Altaïdes Orientales. On sait qu'au delà du horst d'Azov, ce faisceau a cessé de se plisser dès l'époque permienne; plus tard, dans les champs d'affaissement, ont pris naissance des chaînes posthumes, qui se montrent plissées à rebours. Ce sont là des caractères particuliers, qui ne se retrouvent pas ailleurs.

Les *arcs de bordure internes* (6) présentent un contraste remarquable avec les Altaïdes, qui conservent leur allure rectiligne sans être aucunement influencées par le voisinage de ces festons. Ce contraste se manifeste déjà, entre 100° et 96° de long. E. (III, 1re partie, pl. III), par la façon dont le Poustinnyi Khrébet recoupe transversalement les directions convergentes du Loun-Chan (N.W.) et du San-sian-tsy et du Chi-bao-Chan (N.E.). Ensuite le Tien-Chan[3] prolonge sa direction, en

[1. Voir H. Icke en K. Martin, *Over tertiaire en kwartaire Vormingen van he Eiland Nias* (Samml. des Geol. Reichs-Mus. Leiden, I. Ser., VIII, 1907, p. 204-252, pl. XIV-XVIII); H. Douvillé, *Les Foraminifères de l'Ile de Nias* (Ibid., VIII, 1912, p. 253-278, pl. XIX-XXI); A. L. W. E. van der Veen, *Bijdrage tot de Geologie van Nias* (Ibid., IX, 1913, p. 225-243, pl. XV-XVII, dont 1 carte).]

[2. Voir III, 1re partie, p. 476-479.]

[3. L'exploration orographique et géologique de cette chaîne de montagnes a réalisé, depuis dix ans, de notables progrès, grâce aux efforts de nombreux savants, tant russes qu'étrangers. On doit citer, tout d'abord, les travaux entrepris sous les auspices du *Comité géologique* de St-Pétersbourg par C. Bogdanovitch, M. Bronnikov, D. Mouchkétov, Th. Tschernyschew, V. Weber, etc.; puis la mission organisée par la *Carnegie Institution* de Washington, les voyages des Allemands M. Friedrichsen et K. Futterer, de l'Autrichien Fr. Machatschek, du Hongrois G. Prinz, et surtout les explorations d'un alpiniste de Munich, le Dr G. Merzbacher, qui, en compagnie des géologues P. Gröber, H. Keidel, K. Leuchs, a consacré plusieurs campagnes successives à l'étude systématique de la partie orientale du Tien-Chan. D'une manière générale, ces divers travaux ont confirmé l'exactitude des conclusions formulées au début du présent ouvrage, d'après les premières recherches de J. Mouchkétov (I, p. 610-620; voir aussi III, 1re partie, p. 208-220); en outre, ils ont permis de préciser et d'étendre nos connaissances sur un grand nombre de points. Il ressort de cet ensemble de données nouvelles que, sauf à l'Ouest et au Sud, les eaux marines ont, dès

dessinant la corde de l'arc qui enveloppe la dépression de Yarkend, puis en se continuant au delà de l'extrémité occidentale de cet arc, dans

l'époque carbonifère, abandonné l'emplacement du Tien-Chan pour n'y plus revenir : les séries de l'Angara (Jurassique) et du Han-haï (Tertiaire) sont, en effet, d'origine exclusivement continentale. Quant aux mouvements du sol, les deux phases de plissement les plus importantes paraissent avoir précédé et suivi immédiatement le dépôt des couches carbonifères; c'est de cette époque lointaine que daterait l'allure incurvée des principaux chaînons du Tien-Chan. Les mouvements d'âge tertiaire, beaucoup moins énergiques, ont été caractérisés par la prépondérance manifeste des dislocations radiales sur les dislocations tangentielles; les tremblements de terre destructeurs qui continuent à affecter la région (Viernyi, 1887; Andidjan, 1902; Issyk-Koul, 1911) attestent, d'ailleurs, que l'équilibre est encore loin d'être atteint dans ce puissant édifice montagneux. On trouvera un bon résumé critique de toutes ces recherches dans K. Leuchs, *Ergebnisse neuer geologischen Forschung im Tian-Schan* (Geol. Rundschau, IV, 1913, p. 15-42; renferme une liste bibliographique de 49 articles), et dans l'exposé d'ensemble de Fr. Machatschek, *Neuere Arbeiten zur Morphologie von Zentral-Asien* (Geogr. Zeitschrift, XX, 1914, p. 257-274). Consulter, en outre, les travaux descriptifs suivants : 1° Documents russes : J. Mouchkétov, *Le Turkestan. Description géologique et orographique fondée sur les observations recueillies de 1874 à 1880*, tome II (r.). In-8°, XVI-348 p., 106 fig., 11 pl. phot., 1 carte, St-Pétersbourg, 1906; V. Weber, M. Bronnikov, *Recherches géologiques faites en 1904 dans la province de Syr-Daria* (Bull. Comité Géol., St-Pétersbourg, XXIV, 1905, p. 347-426, 8 fig. dont 2 cartes, pl. VIII : carte géol.; r., f.); V. Weber, *Recherches géologiques dans le Fergana en 1909-1910* (Ibid., XXIX, 1910, p. 603-695, pl. XIV-XVI, dont 1 carte géol.; r., f.); D. Mouchkétov, *Le Ferghana Oriental* (Ibid., XXX, 1911, p. 791-845, pl. XVII, XVIII, dont 1 carte géol.; r., f.); *De Prjévalsk au Ferghana* (Ibid., XXXI, 1912, p. 441-470, 4 fig., pl. XII, XIII, dont 1 carte; r., f.); *Alajhu* (Ibid., XXXII, 1913, p. 637-673, pl. 27-29, dont 1 carte géol.; r., a.); *Vorläufiger Bericht über die tektonischen Ergebnisse der letzten Forschungen in Ost-Ferghana* (Neues Jahrb. f. Min., 1914, I, p. 25-42, pl. III-IX, dont 2 cartes); — 2° Documents étrangers divers : M. Friedrichsen, *Forschungsreise in den zentralen Tiën-Schan und dsungarischen Alatau* (*Russisch Zentral-Asien*) *im Sommer 1902* (Mitteil. Geogr. Gesellsch. Hamburg, XX, 1904, VI-311 p., 52 pl., 2 cartes); W. M. Davis, R. and R. W. Pumpelly, E. Huntington, *Explorations in Turkestan. Expedition of 1903, under the command of* R. Pumpelly. In-4°, XII-324 p., 174 fig., 6 pl. dont 4 cartes. Washington, 1905 (Carnegie Institution of Washington, Publication No. 26); K. Futterer, *Durch Asien. Erfahrungen, Forschungen und Sammlungen während der von Amtmann* D. Holderer *unternommenen Reise*, 2. *Geologische Charakter-Bilder*, 1. Teil : *Das Alaï-Gebirge. Das nördliche Tarimbecken. Der östliche Tien-Schan. Die Wüste Gobi zwischen Hami und Su-tschou*; fortgesetzt von Fr. Noetling. In-8°, XVI-394 p., 166 fig., 40 pl. phot., 3 pl. coupes, 4 cartes géol. à 1 : 1 000 000, Berlin, 1905; Fr. Machatschek, *Das westlichste Tienschan. Ergebnisse einer geographischen Studienreise.* In-8°, VI-141 p., 27 fig., 15 pl. dont 1 carte tectonique, Gotha, 1912 (Petermanns Mitteil., Ergänzungsheft Nr. 176); — 3° Travaux de G. Merzbacher et de ses collaborateurs : G. Merzbacher, *Vorläufiger Bericht über eine in den Jahren 1902 und 1903 ausgeführte Forschungsreise in den zentralen Tian-Schan.* In-8°, VIII-100 p., 2 pl. panoramas phot., 1 carte, Gotha, 1904 (Petermanns Mitteil., Ergänzungsheft Nr. 149); *Forschungsreise im Tian-Schan* (Sitzungsber. Mathem.-phys. Kl. K. B. Akad. Wiss., München, XXXIV, 1904, p. 277-369); *Der Tian-Schan oder das Himmelsgebirge* (Zeitschr. Deutsch-Oesterr. Alpenver., XXXVII, 1906, p. 121-151, 6 fig. dont 1 carte, 7 pl.); M. Friedrichsen, *Geologische Ergebnisse der Merzbacherschen Expedition in den zentralen Tiën-Schan in den Jahren 1902-03* (Petermanns Mittell., LIII, 1907, p. 260-265); H. Keidel, *Geologische Untersuchungen im südlichen Tian-Schan, nebst Beschreibung einer Obercarbonischen Brachiopodenfauna aus dem Kukurtuk-Tal* (Neues Jahrb. f. Min., Beilage-Bd. XXII, 1906, p. 266-384, 22 fig., pl. XI-XIV, dont 1 carte); H. Keidel und *P.* St. Richarz, *Ein Profil durch den nördlichen Teil des zentralen Tian-Schan* (Abhandl. k. bayer. Akad. Wiss., München, II. Kl., XXIII, Abt. I, 1906, p. 89-211, 5 pl., dont 1 carte); *P.* A. Kleinschmidt und *P.* H. Limbrock, *Die Gesteine des Profils durch das südliche Musart-Tal im zentralen Tian-Schan* (Ibid., XXIII, I. Abt., 1906, p. 215-232, 2 pl.); H. Keidel, *Einige Berichtigungen zu meinen Arbeiten über den Tian-Schan* (Zentralblatt f. Min., 1907, p. 271-275); P. Gröber, *Carbon und Carbonfossilen des nördlichen und zentralen Tian-Schan* (Abhandl. mathem.-phys. Kl. Kgl. bayer. Akad. Wiss., München, XXIV, 1909, p. 341-384, 10 fig., pl. I-III); P. Gröber, *Vorläufiger Bericht über die tektonischen*

le Pamir[1]. La même allure rectiligne, avec une direction W.N.W., caractérise les coulisses de l'Hindou-Kouch, du Balkhan au Caucase, suivant la corde de l'arc méridional de la Caspienne[2], puis celles du Caucase lui-même au voisinage du rebroussement du deuxième et du troisième de ces arcs de bordure[3].

Tous ces arcs de bordure sont plissés vers l'extérieur, comme l'ensemble de la périphérie du grand édifice. Des lambeaux de recouvrement ont pris naissance dans le Hundés, sur la frontière tibétaine[4], et probablement en d'autres points. Par endroits surviennent des plissements à rebours, qui ont déjà été signalés[5].

Ergebnisse einer Forschungsreise im Südlichen Tien-Schan (Zentralblatt f. Min., 1910, p. 295-303 et 338-347, 9 fig., dont 1 carte); K. Leuchs, *Geologische Untersuchungen im Chalyktau, Temurlyktau, Dsungarischen Alatau (Tian-Schan)* (Abhandl. mathem.-phys. Kl. Kgl. bayer. Akad. Wiss., München, XXV, 1912, p. 1-95, 18 fig., pl. I-VIII, dont 1 carte géol.); P. Gröber, *Der Südliche Tiën-Schan*. In-8°, VI-104 p., 12 pl., 3 cartes, Leipzig-Berlin, 1914 (Geogr. Abhandl., X, Heft 1); — 4° Séismologie : M. Bronnikov, *Le tremblement de terre de Karatag* (Bull. Comité Géol., St-Pétersbourg, XXVII, 1908, p. 475-515, pl. VIII, IX : cartes; r., f.); Th. Tschernyschew, M. Bronnikow, V. Weber und A. Faas, *Das Erdbeben von Andishan am 3/16 Dezember 1902* (Mém d°, Nouvelle sér., Livr. 54, 1910. In-4°, 94 p., 8 fig., 6 pl. dont 1 carte; r., all.); Ch. Bogdanovitch, *Sur le tremblement de terre de Tien-Chan le 22 Déc. 1910 (4 Janvier 1911) entre Verny et Issyk-Koul* (Bull. d°, XXX, 1911, p. 329-419, pl. IX : carte; r., f.); Ch. Bogdanovitch, J. Kark, B. Korolkow et D. Mouchkétow, *Tremblement de terre du 22 décembre 1910 (4 janvier 1911) dans les districts septentrionaux du Tien-chan* (Mém. d°, nouv. sér., Livr. 89, 1914. In-4°, IV-270 p., 30 fig., 24 pl. et 8 feuilles de cartes; r., f.).]

[1. K. Leuchs, *Beiträge zur Geologie des Westlichen Kwenlun und Westtibets nach* Zugmayers *Beobachtungen* (Zeitschr. Deutsch. Geol. Gesellsch., LXV, 1913, p. 173-185).]

[2. Voir la *Carte géologique internationale de l'Europe*, feuilles 28 (G IV) et 35 (G V), Berlin, 1913 (auteurs : Androussov, Berg, Bogdanovitch, Goloubiatnikov, Kalitzky, Nikitin, Riabinin, Tikhonovitch, Vasilievsky). — La même direction, N.W.-S.E., caractérise les nombreuses fractures parallèles qui recoupent à l'Ouest le dôme tertiaire allongé de l'Ile Tchéléken, au Sud de Krasnovodsk, comme le montrent les belles cartes jointes à la monographie de V. Weber et K. Kalickij (Mém. Comité Géol., St-Pétersbourg, Nouv. Sér., Livr. 63. In-4°, VII-180 p., 33 fig., 26 pl. dont 3 cartes, 1911; r. a.).]

[3. Sur la structure du Caucase, voir III. 2e partie, p. 549, et la *Geological Map of the Caucasus* de F. Oswald, 1 : 1 000 000, 2 feuilles, 1914. Voir aussi W. Staub, *Tektonische Beobachtungen aus Westufer des Kaspischen Meeres* (Vierteljahrschr. Naturforsch. Gesellsch. Zürich, LVIII, 1913, p. 298-309, pl. III, IV : coupes et carte tectonique; bibliographie).]

[4. Sur les klippes de l'intérieur de l'Himalaya, dont l'origine ne peut être cherchée qu'au Nord-Est, voir le chapitre suivant. Leurs faunes ont été étudiées dans la *Palæontologia Indica* (Ser. XV — *Himálayan Fossils*), par C. Diener : *The Permocarboniferous Fauna of Chitichun No. I* (vol. I, pt. 3, 1897, 105 p., 13 pl.); *Upper triassic and liassic faunæ of the Exotic Blocks of Malla Johar in the Bhot Mahals of Kumaon* (vol. I, pt. 1, 1908, 100 p., 16 pl.). Voir aussi le résumé stratigraphique du même auteur : *The Trias of the Himalaya* (Mem. Geol. Survey of India, XXXVI, pt. 3, 1912, p. 132-140).]

5. La structure du Tibet s'éclaircit peu à peu. A l'Est de Darjeeling, d'abord la bordure tertiaire, puis un liséré de Gondwana inférieur plongent au N.N.W. sous le gneiss des hautes montagnes, qui occupe plus de 100 km. de largeur et s'étend à peu près jusqu'au 28e degré de lat. N. (I, p. 590). Au Guicha La (5 007 m.), au milieu des gneiss, et seulement à 11 km. 7 au Sud de la cime du Kanchinjunga (8 579 m.), les parois du Pandim (6 711 m.) présentent des terrains sédimentaires affectés de métamorphisme de contact, avec grenat, scapolite, etc., et filons de pegmatite. Un calcaire à Crinoïdes, probablement paléozoïque, modifié d'une manière analogue, a été rencontré au Nord de ce point, à la limite septentrionale du gneiss, au delà du Jonsong La. Tous ces renseignements sont dus à Garwood.

Dans le Baloutchistan, d'après les rapports de Vredenburg, des faisceaux de plis réguliers sont séparés par de vastes plaines déserti-

— Plus à l'Est, au Lac Cholamo, situé également sur la limite septentrionale, Hooker signale déjà du calcaire à Crinoïdes, et encore plus à l'Est, par 89° 15' de long. E., Hayden a trouvé un lambeau de Trias? enfoncé dans le gneiss. Au delà du 28° degré de lat. N., l'on atteint une vaste région occupée par des terrains sédimentaires, en partie énergiquement comprimés; jusqu'à présent, à l'exception d'une bande étroite de Crétacé et d'Éocène, on n'y

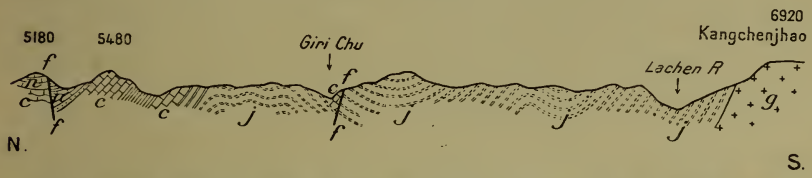


Fig. 322. — Coupe dans l'Himalaya Oriental (Tibet), d'après H. H. Hayden (*Mem. Geol. Survey of India*, XXXVI, part 2, 1907, pl. I, fig. 2).

j. Jurassique; *c*. Crétacé; *n*. Éocène; *g*. Granite; *f*, failles. — Échelle de 1 : 300 000 environ; altitudes en mètres.

a recueilli que des fossiles jurassiques (fig. 322). Elle s'étend jusqu'au delà de Lhassa et, selon toute vraisemblance, jusqu'aux affleurements crétacés du Tengri-Nor. Cette large zone mésozoïque est interrompue par du granite sur le Brahmapoutra, au Sud de Lhassa, puis à côté de la ville même de Lhassa et en quelques autres points. Garwood conjecture que le Kanchinjunga et la grande zone de gneiss résulteraient de l'intrusion d'un granite à l'époque paléozoïque ou même plus tard; E. J. Garwood, *Notes on a Map of the Glaciers of Kangchenjunga* (Geogr. Journ., XX, 1902, p. 13-24, cartes); le même, *The Geological Structure and Physical Features of Sikhim* (dans D. Freshfield, *Round Kangchenjunga. A Narrative of Mountain Travel aud Exploration*. In-8°, London, 1903, p. 275-299 et 307, carte géol.); H. H. Hayden, *Preliminary Note on the Geology of the Provinces of Tsang and Ü in Tibet* (Records Geol. Survey of India, XXXII, 1905, p. 160-174, pl. 7 : carte géol.); du même, *The Geology of the Provinces of Tsang and Ü in Central Tibet* (Mem. Geol. Survey of India, XXXVI, pt. 2, 1907, p. 122-201, 15 pl. dont 1 carte géol.). [Sur la géologie du Tibet, consulter : Sven Hedin, *Scientific Results of a Journey in Central Asia, 1899-1902*, vol. VII, pt. 2, *Geology*, by H. Bäckström and H. Johansson. In-4°, 18 p., Stockholm, 1907; accompagné d'une *Geological Map of the Route of Dr. Sven Hedin in Tibet 1899-1902*, en 2 feuilles, à 1 : 2 000 000 (9 teintes; déterminations pétrographiques basées sur l'examen de 800 échantillons, déposés à l'Université de Stockholm). Les auteurs signalent l'extension considérable, dans l'Est du Tibet, de la « Red Sandstone series », dont le plongement est, en général, faible (comparer avec le t. III du présent ouvr., 1re partie, p. 353); une « Greywacke series » plus ancienne, qui se montre au contraire fortement disloquée, affleure dans toutes les parties du territoire parcouru. Les calcaires, dont l'allure est également très tourmentée, sont surtout abondants dans le Sud-Est, et en arrière de l'Himalaya; malheureusement, les débris de fossiles qu'ils renferment n'ont pas paru déterminables (liste des gisements, p. 4). L'absence complète des gneiss et des micaschistes dans les deux tiers de la région décrite, au Sud de 37°, est remarquable, étant donné sa grande altitude. D'autre part, c'est dans le faisceau de chaînes parallèles du N.E. (fig. 323) que les granites sont le plus fréquents, de même que les roches éruptives anciennes, et c'est là aussi que le métamorphisme des roches sédimentaires atteint son maximum d'intensité. Quant aux roches volcaniques de type récent (andésites à bronzite), elles paraissent constituer plusieurs pointements au Sud de l'Arka-Tagh, entre 88° et 90° de long. E. (voir III, 1re partie, p. 268-269); mais, en aucun point, Sven Hedin n'a vu des cratères ou des coulées ayant conservé leurs formes originelles. Dans l'Ouest du Tibet, des tufs rhyolitiques ont été observés sur les bords de l'Oman-tso (82-83° de long., 32-33° de lat.). — Les découvertes les plus importantes ont été faites, de 1906 à 1908, par Sven Hedin, dans la grande chaîne qui s'étend à travers tout le Tibet méridional, au Nord de la vallée du Brahmapoutra, et que cet explorateur a recoupée en huit passages différents. D'une façon générale, cette chaîne de montagnes, « l'une des plus hautes et des plus puissantes du monde », sert de

ques, et le mouvement se produit, dans les différents cas, suivant la profondeur plus ou moins grande de ces dépressions, tantôt vers le Sud et tantôt vers le Nord; le regard Sud est, d'ailleurs, dominant. Les vallées intermédiaires sont, dans un grand nombre de cas, de vrais affaissements[1].

En dépit du contraste des directions entre le Tien-Chan et l'arc de Yarkend (Himalaya), on voit, de part et d'autre, une discordance à la base du Carbonifère supérieur ou du Permien, et dans les deux régions, comme d'ailleurs sur toute la lisière externe des arcs de bordure, les mouvements ont continué jusqu'à l'époque tertiaire[2].

ligne de partage entre le versant de l'Océan Indien et les bassins fermés de l'intérieur du Continent. Sa longueur est d'au moins 2 200 kilom., et son altitude atteint 7 300 m. au Nien-chen-tang-la. L'étude des 1 700 échantillons recueillis dans cette seconde expédition a été confiée au Prof. Anders Hennig, de Lund, qui a déjà fait connaître les résultats suivants : il existe, dans le Trans-Himalaya, une puissante série de schistes, quartzites et calcaires cristallins, fortement métamorphisés et regardés comme le prolongement direct des couches jurassiques, d'aspect analogue, signalées par Hayden aux environs de Lhassa et dans la région qui s'étend au N.W. de Gyangtsé. Cette série occupe surtout la vallée du Brahmapoutra, et on n'en retrouve que de rares lambeaux plus au Nord. Par-dessus viennent des calcaires noirs ou rougeâtres, contenant des Radiolites et des Orbitolines (Aptien, Albien et Cénomanien), et qui forment la masse principale des reliefs dans l'Ouest du Tibet. Le tout est traversé par une série éruptive comprenant des roches du type le plus varié, du granite franc aux péridotites ultrabasiqués et des masses intrusives aux tufs ou aux laves vitreuses; cette formation est, sans doute, la suite des roches volcaniques éocènes qui ont été signalées vers l'extrémité Nord-Ouest de l'Himalaya; elle est suivie elle-même de dépôts détritiques discordants et constitués à ses dépens, mais ne renfermant pas de fossiles. Dans la vallée de Brahmapoutra, des grès et conglomérats plus récents, demeurés horizontaux. rappellent les alluvions pléistocènes du Hundes (Sven Hedin, *Trans-Himalaya. Discoveries and Adventures in Tibet.* 3 vol. in-8°, nombreuses illustr., 14 cartes, London, 1910-1913; voir notamment I, p. 401-414, et III, p. 114-165).]

[1. Sur la géologie du Baloutchistan, voir III, 1re partie, p. 376-380; consulter en outre : G. E. Pilgrim, *The Tertiary and Post-Tertiary Freshwater Deposits of Baluchistan and Sind, with Notices of New Vertebrates* (Records Geol. Survey of India, XXXVII, 1908, p. 139-166, pl. 2-4); E. W. Vredenburg, *Report on the Geology of Sarawan, Jhalawan, Mekran and the State of Las Bela, considered principally from the point of view of Economic Development* (Ibid., XXXVIII, 1909, p. 189 215, pl. 8-32, dont 1 grande carte géol. à 1 : 1 000 000 env. et 1 carte tectonique); le même, *Note on a Hippurite-bearing Limestone in Seistan and on the Geology of the adjoining Region* (Ibid., XXXVIII, 1909, p. 216-229, pl. 13-16, dont 1 carte géol. du Baloutchistan à 1 : 6 000 000 env.).]

[2. Sur la géologie de l'Himalaya, consulter le récent exposé d'ensemble de S. G. Burrard and H. H. Hayden, *A Sketch of the Geography and Geology of the Himalaya Mountains and Tibet*, Part IV. *The Geology of the Himalaya.* Published by Order of the Government of India. In-4°, p. 207-267, pl. XXXVIII-L, Calcutta, 1908 (accompagné d'une grande carte : *Geological Map of the Himalaya*, à l'échelle de 1 : 2 534 000). Les trois premières parties de cet ouvrage capital, publiées en 1907, sont intitulées : *The High Peaks of Asia* (I); *The Principal Mountain Ranges of Asia* (II); *The Rivers of the Himalaya and Tibet* (III). Voir aussi l'article de K. Oestreich, *Himalaya-Studien* (Zeitschr. Gesellsch. f. Erdkunde, Berlin, 1914, p. 417-451). — Au point de vue stratigraphique, voir : F. R. Cowper Reed, *Silurian Fossils from Kashmir* (Records Geol. Survey of India, XLII, 1912, p. 16-33, pl. 9); et *Devonian Fossils from Chitral, Persia, Afghanistan and the Himalayas* (Ibid., XLI, 1911, p. 86-114, pl. 7-8); C. Diener, *The Trias of the Himalayas* (Mem. Geol. Survey of India, XXXVI, pt. 3, 1912, 176 p., 12 fig.); V. Uhlig, *Die Fauna der Spiti-Schiefer des Himalaya, ihr geologisches Alter und ihre Weltstellung* (Denkschr. k. Akad. Wiss. Wien, Math.-Naturw. Kl., LXXXV, 1910, p. 531-609). Voir aussi, dans la *Palæontologia Indica* (Ser. XV, *Himalayan Fossils*), les monographies consacrées,

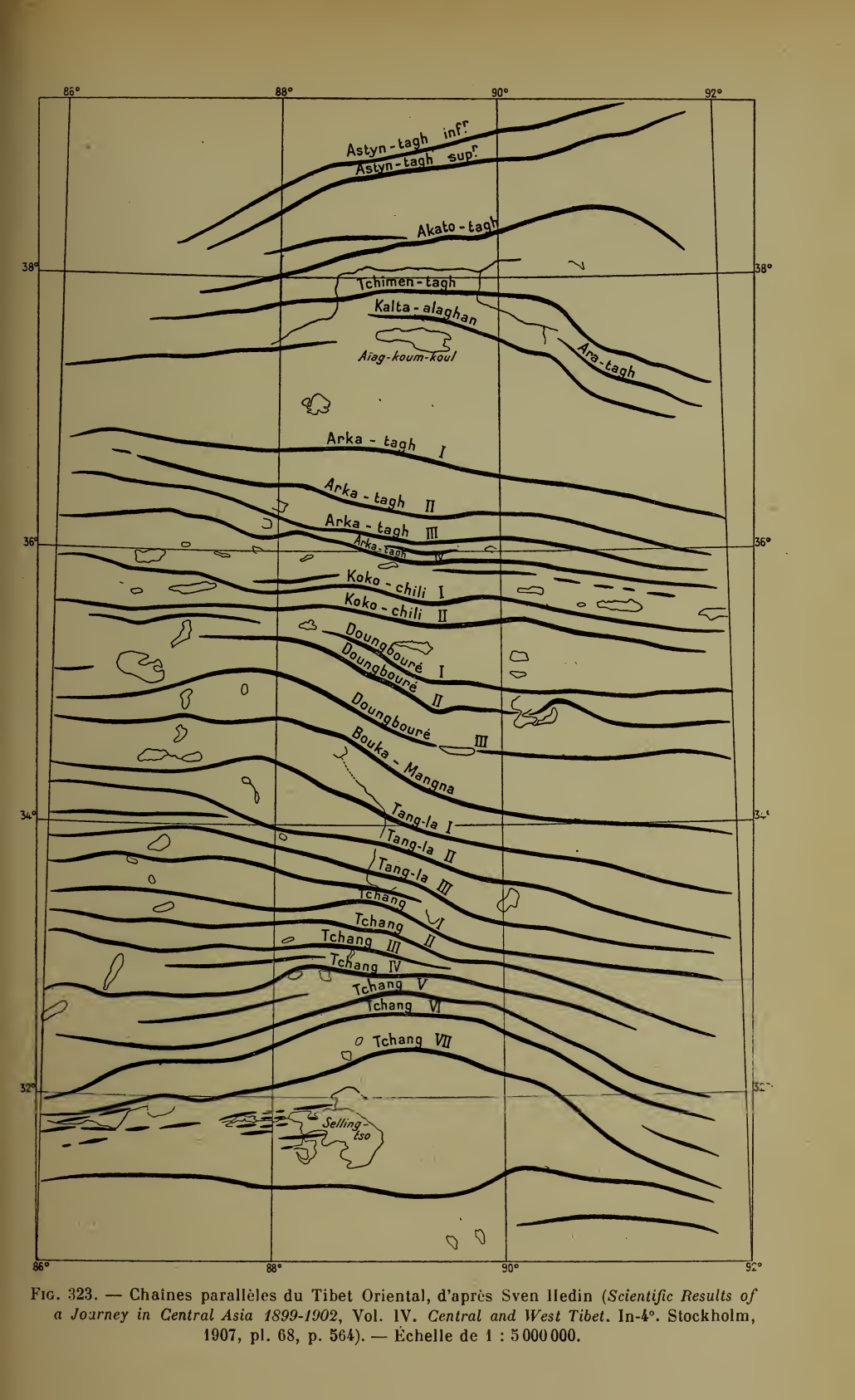


FIG. 323. — Chaînes parallèles du Tibet Oriental, d'après Sven Hedin (*Scientific Results of a Journey in Central Asia 1899-1902*, Vol. IV. *Central and West Tibet*. In-4°. Stockholm, 1907, pl. 68, p. 564). — Échelle de 1 : 5 000 000.

Dans l'Arc Iranien, la tendance à la formation de vides secondaires est très frappante. L'une de ces lacunes se produit lorsque les Monts Souleïman, au delà de la Chaîne du Sel, s'avancent au loin vers le Sud, en sortant de la bordure externe de l'Iran; le faisceau se résout ensuite en un certain nombre de chaînons moins élevés, qui s'infléchissent au S.W., à l'W. et enfin au N.W., de manière à envelopper l'espace parasitaire, en quelque sorte, du *Sewestan* (III, 1re partie, p. 374). Ce territoire est limité suivant la corde par les chaînes principales internes, qui s'orientent normalement au S.S.W. et se dirigent vers Kandahar, exactement comme le feraient les Altaïdes. Près de Quetta, la ceinture rejoint la chaîne principale [1].

En dedans de cette chaîne maîtresse, le phénomène se reproduit sur une plus grande échelle. Au Nord de Quetta, les chaînes divergent vers le S.S.W., se recourbent en décrivant un arc de cercle vers l'W. et enfin le N.N.W., tout en diminuant de hauteur, et finissent par se perdre au Nord dans le désert. Ainsi se délimite un second espace vide; la courbe que décrit sa bordure se reflète dans le tracé curviligne de

depuis 1897, aux faunes cambrienne, ordovicienne et silurienne par F. R. Cowper Reed (VII, nos 1, 2); aux fossiles carbonifères et permiens par C. Diener (I, nos 2, 3, 5); à ceux du Trias, et en particulier aux Céphalopodes, par A. Bittner, C. Diener, E. von Mojsisovics et A. von Krafft (II, nos, 1, 2; III, nos 1, 2; V, nos 1, 3; VII, nos 1, 2); enfin, à la faune des *Spiti Shales* par V. Uhlig et K. Holdhaus (IV, nos 1-4). — L'une des plus récentes contributions à l'étude des grandes chaînes intérieures du Nord-Ouest a été fournie par les membres de la Mission italienne dirigée, en 1909, par le Duc des Abruzzes; voir le magnifique ouvrage de F. De Filippi, *Karakoram and Western Himalaya. An account of the Expedition of H. R. H. Prince Luigi Amedeo of Savoy, Duke of the Abruzzi.* 2 vol. gr, in-8°, nombreuses pl. d'après les phot. de V. Sella, 18 panoramas, 3 cartes, London, 1910 (p. 427-451 : Appendix C. *Geological Results of the Karakoram Expedition...*, by Ing. V. Novarese and R. D. Oldham; renferme une bibliographie). Il résulte de l'examen des échantillons rapportés par cette Expédition que l'énorme massif qui s'étend en arrière du Glacier de Baltoro (Broad Peak, Gasherbrum, Hidden Peak, Golden Throne) est entièrement constitué par des calcaires et des dolomies, ormant sans doute un trait d'union entre la bande paléozoïque et mésozoïque du Chang-Chenmo, explorée par Stoliczka, au S.E. (voir I, p. 574), et le synclinal du Baltistan, déjà reconnu par Godwin-Austen, au N.W. (Ibid., p. 573). Ces hautes cimes possèdent ainsi le privilège d'être les sommets les plus élevés du monde, actuellement connus (altitudes variant de 8 000 à 8 270 m.), dont les matériaux soient d'origine sédimentaire. C'est à la même zone qu'appartiendrait, plus à l'E., un autre grand pic, le Teram Kangri (7 465 m.), signalé par l'alpiniste Longstaff, et qui paraît être également calcaire; T. G. Longstaff, *Glacier Exploration in the Eastern Karakoram* (Geogr. Journ., XXXV, 1910, p. 622-658 et 744, 3 pl. contenant 9 phot., 2 cartes). Voir aussi A. Neve, *The Ranges of the Karakoram* (Ibid., XXXVI, 1910, p. 571-577, 2 fig.); Col. S. G. Burrard, *The Height of Teram Kangri* (Ibid., XXXIX, 1912, p. 71, 72); A. Roccati, *Studio litologico e mineralogico del materiale raccolto dal Dott.* Cesare Calciati *nella Spedizione al Karakorum Sud-Orientale* (Bull. Soc. Geol. Ital., XXXIV, 1915, p. 1-78, pl. I, II; bibliogr., p. 75-77); G. Dainelli e O. Marinelli, *Relazione preliminare dei lavori scientifici della Spedizione* De Filippi *al Karakorum. Cenni speciali intorno alle ricerche di Geologia e Geografia* (Riv. Geogr. Ital., XXII, 1915, p. 236-254, 2 cartes d. l. t.).]

[1. Sur la structure des environs de Quetta et le raccord de l'arc du Sewestan avec le faisceau Iranien, voir C. Vredenburg, *On the occurrence of a Species of* Halorites *in the Trias of Baluchistan* (Records Geol. Survey of India, XXXI, 1904, p. 162-166, pl. 17, 18, dont 1 carte géol. à 1 : 1 000 000 env.); C. Diener, *Notes on an Upper Triassic Fauna from the Pishin District, Baluchistan, collected by* E. Vredenburg *in the year 1901* (Ibid., XXXIV, 1906, p. 12-21, pl. 3, 4).]

l'Hilmend[1]. En même temps, de longues chaînes courent de Bampur vers le N.W., en délimitant le désert de Dacht-i-Lout[2]. Sur la bordure externe, un rebroussement secondaire se produit peut-être encore au Détroit d'Ormuz[3], et c'est seulement alors que le bord externe, en longeant le Golfe Persique et le Tigre, se dirige vers le rebroussement de Diarbékir[4].

La tendance à la subdivision ne prend pas fin avec la formation de la cuvette du Sewestan, de celle de l'Hilmend et du triangle, fermé au Sud-Est, qui correspond au désert de Dacht-i-Lout. La *Chaîne de l'Elbourz* se présente, autour des rives méridionales de la Mer Caspienne, comme un arc secondaire autonome; du côté de l'Ouest, dans le Ghilan, il vient se confondre avec les chaînes iraniennes normales (III, 1re partie, p. 385).

L'*Arc Tauro-Dinarique* (I, p. 662; III, 1re partie, p. 416) comprend deux arcs, qui se sont gênés réciproquement dans leur évolution. La rencontre se produit, d'après les études récentes de Philippson, à l'Ouest de la Péninsule de Cyzique et du Lac de Manias, le long du Simaou. Au Sud de ce fleuve se produit un brouillage, dû à la pré-

[1. Sur cette grande cuvette intérieure, son histoire et l'origine de son modelé, voir Ellsworth Huntington, *The Basin of Eastern Persia and Sistan* (*Explorations in Turkistan. Expedition of 1903, under the command of* Raphael Pumpelly). In-4°, Washington, 1905, p. 217-317, fig. 149-174, pl. 4-6, dont 2 cartes; renferme une Bibliographie (Carnegie Institution of Washington, Publication No. 26). Consulter, en outre, l'article du Col. Sir Henry Mc Mahon : *Recent Survey and Exploration in Seistan* (Geogr. Journ., XXVIII, 1906, p. 209-228 et 333-352, carte à 1 : 1 000 000, p. 312), et le résumé de M. Zimmermann : *L'Exploration du Séistan, par Sir Henry Mac Mahon* (Annales de Géogr., XVI, 1907, p. 81-85).]

[2. Voir le bel ouvrage de Sven Hedin : *Zu Land nach Indien durch Persien, Seïstan, Belutschistan.* 2 vol. in-8°, XI-407 et VIII-394 p., 308 fig. et pl., 2 cartes, Leipzig, 1910; éd. anglaise publiée sous le titre de : *Overland to India.* 2 vol. in-8°, London, 1910.]

[3. G. E. Pilgrim, *The Geology of the Persian Gulf and the adjoining Portions of Persia and Arabia* (Mem. Geol. Survey of India, XXXIV, pt. 4, 1908, p. 1-177, pl. 1-17, dont 2 cartes géol. à l'échelle de 1 : 506 880 et 1 grande carte d'ensemble à 1 : 2 000 000 env.). Il est question de ce travail, ci-après, au chapitre XXVII.]

[4. Sur la géologie de la Perse, et en particulier des nombreux chaînons parallèles qui longent, à l'Est, la vallée du Tigre, consulter : H. Douvillé, *Les explorations de M. de Morgan en Perse* (Bull. Soc. Geol. de Fr., 4e sér., IV, 1904, p. 539-553, 5 fig.), et *Les découvertes paléontologiques de M. de Morgan en Perse* (C. R. Acad. Sc., CXL, 1905, 1er sem., p. 891-893); J. de Morgan, *Note sur la Géologie de la Perse et sur les travaux paléontologiques de M. H. Douvillé sur cette région* (Bull. Soc. Géol. de Fr., 4e sér., V, 1905, p. 170-189, 2 fig.); *Mission scientifique en Perse*, t. III, 1re partie : *Études géologiques. Géologie stratigraphique*, par J. de Morgan. In-4°, IV-136 p., 94 fig., 33 pl. dont 1 carte géol., Paris, 1905; Id., t. III, 4e partie : *Paléontologie. Mollusques fossiles*, par H. Douvillé, p. 191-380, pl. XXV-L, 1904. — Voir aussi R. de Mecquenem, *Contribution à l'étude du gisement de vertébrés de Maragha* (Ministère de l'Instruction publique. Délégation en Perse. Annales d'Histoire naturelle. In-4°, Paris, 1908, p. 27-86, fig. 1-31, pl. IV-IX et 3 cartes, dont un « Essai de carte géologique du versant occidental du Sahend »); A. F. Stahl, *Geologische Beobachtungen in Zentral- und Nordwestpersien* (Petermanns Mitteil., LIII, 1907, p. 169-177 et 205-214, pl. 14, 15 : cartes géol. à 1 : 840 000); *Geologische Beobachtungen in Nordwestlichen Persien* (Ibid., LV, 1909, p. 1-10, pl. 1 : carte géol. à 1 : 840 000); et l'exposé général du même auteur : *Persien* (*Handbuch der Regionalen Geologie*, herausgegeben von G. Steinmann und O. Wilckens, 8. Heft (Bd. V, 6. Liefg.). In-8°, 46 p., 5 fig., 2 pl. cartes, Heidelberg, 1911; renferme une bibliographie).]

sence d'un grand massif de roches cristallines, le Massif de Lydie et de Carie, occupant tout l'espace qui s'étend ensuite, vers le Sud, par delà le Méandre, jusqu'à Denizlu et à Milas[1]. Par Rhodes[2], des chaînons dinariques, orientés N.E., pénètrent dans l'Asie Mineure; dans la Lycie Occidentale apparaît la direction taurique.

A l'intérieur des Taurides s'individualise un arc plus petit, l'arc Pontique oriental[3], auquel appartient la côte jusque vers Sinope. L'arc Taurique principal est beaucoup plus important; il comprend le Taurus et l'Anti-Taurus[4], l'Amanus, Chypre, et un grand nombre de chaînons dirigés N.W.-S.E. dans l'Asie Mineure Occidentale. Il entoure la

1. L'élément dirigé N.-S., qui s'observe au Nord de Smyrne, n'a donc pas l'importance qu'on avait cru pouvoir lui attribuer précédemment (III, 1re partie, p. 429); A. Philippson, *Vorläufiger Bericht über die im Sommer 1902 ausgeführte Forschungsreise im westlichen Klein-asien* (Sitzungsber. Akad. Berlin, 1903, I, p. 114), et *Vorläufiger Bericht über die im Sommer 1904 ausgeführte Forschungsreise im westlichen Klein-Asien* (Zeitschr. Gesellsch. f. Erdk. Berlin, 1905, p. 421). [Sur la géologie de l'Asie Mineure, consulter l'ouvrage de A. Philippson : *Reisen und Forschungen im westlichen Kleinasien*. In-8°, Gotha, 1910-1915 (Petermanns Mitteil., Ergänzungshefte Nr. 167, 172, 177, 180, 183); à chaque livraison est jointe une des feuilles de la *Geologische Karte des westlichen Klein-Asien*, à 1 : 300 000, dressée par le même auteur. Pour un tableau d'ensemble, voir la *Carte géologique Internationale de l'Europe* à 1 : 1 500 000, feuilles 33 (Ev), 34 (Fv), 40 (Evi) et 41 (Fvi); auteurs : Berg, Blanckenhorn, matériaux inédits de Philippson, Berlin, 1911; notice explicative, par G. Berg, *Die Darstellung Anatoliens auf der Internationalen Geologischen Karte von Europa* (Petermanns Mitteil. LVII, 1911-II, p. 213-215).] — Cayeux a proposé de mener une directrice partant de la Crète vers l'Ouest; je crois devoir m'en tenir à l'hypothèse antérieure, acceptée également par Philippson. [Aux travaux de L. Cayeux sur l'île de Crète, déjà signalés au t. III (1re partie, p. 436), il y a lieu d'ajouter les suivants : *Existence du Jurassique Supérieur et de l'Infracrétacé dans l'Ile de Crète* (C. R. Acad. Sc., CXXXVI, 1903, 1er sem., p. 330-332); *Phénomènes de charriage dans la Méditerranée Orientale* (Ibid., p. 474-476); *Les éruptions d'âge secondaire dans l'Ile de Crète* (Ibid., p. 519-521); *Les lignes directrices des plissements de l'Ile de Crète* (Congrès Géol. Internat., Compte rendu IXe session, Vienne, 1903, 1er fasc., p. 383-392, 2 fig. cartes). — Voir, en outre, la monographie de L. Chalikiopoulos : *Sitia, die Osthalbinsel Kreta's. Eine geographische Studie* (Veröffentl. des Inst. für Meeresk. und des Geogr. Inst. Berlin, Heft 4). In-8°, VIII-138 p., 7 pl. dont 1 carte géol. et 1 pl. de coupes, Berlin, 1903.]

[2. Voir III, 1re partie, p. 424, 425. Voir aussi P. Fallot, *Sur l'existence possible de phénomènes de charriage à l'Ile de Rhodes* (Bull. Soc. Géol. de Fr., 4e sér., 1911, p. 162-169, 3 coupes).]

[3. D'après les observations de Fr. Frech, il ne semble pas que cet arc existe réellement : la région correspondante est, en effet, occupée par de puissants épanchements volcaniques, d'âge tertiaire moyen; le terrain crétacé, quand il affleure, se montre à peine disloqué, et l'Éocène ne l'est pas du tout. Le parallélisme des accidents du relief, dans l'ancien territoire du Pont, serait en rapport avec des cassures; Fr. Frech, *Geologische Beobachtungen im pontischen Gebirge. Oberkreide, Flysch und mitteltertiäre Masseneruptionen bei Trapezunt, Kerassunt und Ordu* (Neues Jahrb. f. Min., 1910, I, p. 1-24, 3 fig., pl. I, II).]

[4. Voir Fr. Frech, *Ueber den Gebirgsbau des Taurus* (Zeitschr. Gesellsch. f. Erdkunde, Berlin, 1911, p. 714-720); *Ueber den Gebirgsbau des Tauros in seiner Bedeutung für die Beziehung der europäischen und asiatischen Gebirge* (Sitzungsber. k. Preuss. Akad. Wiss., Berlin, 1912, II, p. 1177-1196; compte rendu et commentaire, par l'auteur, Neues Jahrb. f. Min., Jahrg., 1913, I, Referate, p. 126-138). D'après ce géologue, aucun dépôt n'aurait été accumulé dans le Taurus entre le terrain carbonifère et le Crétacé supérieur; la structure des Taurides se montrerait beaucoup plus simple que celle des Dinarides, et les deux arcs seraient indépendants. Ces conclusions sont, toutefois, combattues par L. Kober (Mitteil. der Geol. Gesellsch. in Wien, VI, 1913, p. 174-176). — Voir aussi A. Philippson, *Zusammenhang der griechischen und kleinasiatischen Faltengebirge* (Petermanns Mitteil, LX, 1914-II, p. 71-75, pl. 12 : carte).]

dépression de Lycaonie. L'arc pontique occidental est moins accusé; on pourrait attribuer à sa partie Ouest, dont la direction est W.N.W. ou W., l'Olympe de Brousse et le grand massif de serpentine qui s'étend au Sud de cette montagne, jusqu'à Taouchanli et Kioutaïa. Plus au Sud, les chaînons venant du Sud-Est qui s'étendent jusqu'au-delà des lacs de Pisidie, vers Afioun-Karahissar et Ichikli, appartiennent à l'arc taurique principal.

A l'intérieur des Dinarides [1], la tendance à la formation d'arcs

[1. La structure des Dinarides, et en particulier de leur segment oriental et méridional, dans le territoire de la Grèce (*Hellénides* de Fr. Frech et L. Kober), a donné lieu, depuis douze ans, à un très grand nombre de travaux, qu'il est impossible d'énumérer tous ici. Parmi les conclusions qui s'en dégagent, contentons-nous de signaler la découverte d'horizons fossilifères de plus en plus nombreux, dans la série paléozoïque (Carbonifère marin, Permien) et mésozoïque (Trias, Lias, Jurassique, Infracrétacé), et le rôle de plus en plus important que ces recherches attribuent, aussi bien dans le Péloponnèse que dans la Grèce Continentale et dans l'Eubée, aux phénomènes de recouvrement; voir A. Philippson, *Über den Stand der geologischen Kenntnis von Griechenland* (Congrès Géol. Internat., C. R. IXe Session, Vienne, 1903, fasc. I, p. 372-382, 1904); L. Cayeux, *Géologie des environs de Nauplie. Existence du Jurassique supérieur et de l'Infracrétacé en Argolide* (Bull. Soc. Géol. de Fr., 4e sér., IV, 1904, p. 87-105, 3 fig.); J. Deprat, *Étude géologique et pétrographique de l'Ile d'Eubée* [Thèse de Doctorat]. In-8°, IV-230 p., 150 fig., 15 pl. dont 1 carte géol. Besançon, 1904; le même, *Note sur la géologie du massif du Pélion et sur l'influence exercée par les massifs archéens sur la tectonique de l'Égéide* (Bull. Soc. Géol. de Fr., 4e sér., IV, 1904, p. 299-338, 17 fig. dont 1 carte tectonique; renferme une Bibliographie); Ph. Negris, nombreuses notes publiées dans les Comptes rendus de l'Académie des Sciences, notamment : *Sur la nappe charriée du Péloponèse* (CXLII, 1906, 1er sem., p. 182-184); *Sur les racines de la nappe de charriage du Péloponèse* (Ibid., p. 308-310); *Sur la géologie du Mont Ithome en Messénie* (CXLIII, 1906, 2e sem., p. 703-705); *Composition de la nappe charriée du Péloponèse au Mont Ithome* (CXLVII, 1908, 2e sem., p. 316-318); *Sur le substratum de la nappe de charriage du Péloponèse* (Ibid., p. 1433-1436); *Sur les brèches de friction dans les surfaces de charriage du Péloponèse* (CXLVIII, 1909, 1er sem., p. 1700-1702); *Sur les caractères distinctifs des brèches provenant de l'érosion et des brèches provenant du charriage, dans le Péloponèse* (CLII, 1911, 1er sem., p. 1035-1037); K. A. Ktenas, *Die Ueberschiebungen in der Peloponnisos, I. Der Ithomiberg* (Sitzungsber. k. Preuss. Akad. Wiss., Berlin, 1908, II, p. 1076-1080, 1 fig.); C. Renz, *Geologische Forschungen in Akarnanien* (Neues Jahrb. f. Min., Beilage-Bd. XXXII, 1911, p. 388-468, pl. XI, XII, dont 1 carte géol.); le même, *Über den Gebirgsbau Griechenlands* (Zeitschr. Deutsch. Geol. Gesellsch., LIV, 1912, Monatsber., p. 437-465). — Au point de vue stratigraphique, consulter surtout les mémoires de C. Renz, en particulier : *Über die mesozoische Formationsgruppe der südwestlichen Balkanhalbinsel* (Neues Jahrb. f. Min., Beilage-Bd. XXI, 1906, p. 213-301, pl. X-XIII); *Ueber das ältere Mesozoicum Griechenlands* (Congrès Géol. Internat., Compte rendu Xe Session, Mexico, 1906, 1er fasc., p. 197-209, 1907); *Sur les terrains jurassiques de la Grèce* (C. R. Acad. Sc., Paris, CXLIII, 1906, 2e sem., p. 708-710); *Trias und Jura in der Argolis* (Zeitschr. Deutsch. Geol. Gesellsch., LVIII, 1906, p. 379-395, pl. XIX); *Sur les preuves de l'existence du Carbonifère et du Trias dans l'Attique* (Bull. Soc. Géol. de Fr., 4e sér., VIII, 1908, p. 519-523); *Études stratigraphiques et paléontologiques sur le Lias et le Trias en Grèce* (Bull. Soc. Géol. de Fr., 4e sér., IX, 1909, p. 249-273, pl. IX-XI); *Der Nachweis von Lias in der Argolis* (Zeitschr. Deutsch. Geol. Gesellsch., LXI, 1909, p. 202-229, pl. IV); *Stratigraphische Untersuchungen im Griechischen Mesozoikum und Paläozoikum* (Jahrb. k. k. Geol. Reichsanst., LX, 1910, p. 421-636, 38 fig., pl. XVIII-XXII); *Die mesozoischen Faunen Griechenlands, I* (Palæontographica, LVIII, 1911, p. 1-104, 15 fig., pl. I-VII); *Sur l'existence de nouveaux gisements triasiques dans la Grèce Centrale* (C. R. Acad. Sc., CLII, 1911, 1er sem., p. 633-635); *Extension du Trias dans la partie moyenne de la Grèce Orientale* (Ibid., CLIII, 1911, 2e sem., p. 1098-1100); — C. Renz et Fr. Frech, *Sur la répartition du Trias à faciès océanique en Grèce* (C. R. Acad. Sc., CXLIII, 1906, 2e sem., p. 523-525); *Étude sur les terrains triasiques et jurassiques de la Grèce* (Bull. Soc. Géol. de Fr., 4e sér.,

secondaires est moins marquée. On n'est pas d'accord sur l'existence d'un de ces arcs en Albanie[1].

Comme nous l'avons déjà vu, on pourrait qualifier la rencontre de l'arc Birman et de l'arc de Yarkend d'enchaînemeni normal avec dominante orientale, mais l'introduction d'un fragment étranger (Assam) modifie le tableau.

L'arc de Yarkend et l'arc Iranien se rencontrent au rebroussement du Jhelam, dont les traces peuvent être suivies vers le Nord jusque dans le Pamir.

A la limite des Iranides et des Taurides se produit un rebroussement : l'arc secondaire de l'Elbourz passe, dans le Karabagh oriental et occidental, à l'aile extrême de l'arc Pontique oriental, tandis qu'au Sud les chaînes persanes du Zagros vont se raccorder avec le Taurus un peu à l'Est du méridien de Diarbékir[2].

VI, 1906, p. 543-551); *Der Nachweis von Obertrias im Parnassgebiet* (Zeitschr. Deutsch. Geol. Gesellsch., LX, 1908, Monatsber., p. 329-336, 2 pl.); — Ph. Négris, *Roches cristallophylliennes et Tectonique de la Grèce*. In-8°, VIII-124 p., 10 fig., 24 pl. phot. Athènes et Paris, 1914; *Appendice*, p. I-XXIII et 125-210, fig. 11-55. Ibid., 1915. — D'autre part, l'importance des fractures qui, à une époque plus ou moins tardive, ont découpé cet ensemble plissé, en déterminant une grande partie des traits du relief actuel, a été nettement confirmée par les travaux récents; voir notamment L. Cayeux, *Dislocations des îles de Délos, Rhénée et Mykonos* (*Cyclades*), (C. R. Acad. Sc., CLII, 1911, 1er sem., p. 1529-1531, 1 carte); *Les transformations du massif des Cyclades à la fin des temps tertiaires et au commencement de l'époque quaternaire* (Ibid., p. 1796-1798).]

1. Aux environs de Scutari, J. Cvijić décrit un rebroussement secondaire; *Die dinarisch-albanesische Scharung* (Sitzungsber. k. Akad. Wiss. Wien., Mathem.-naturwiss. Cl., CX, Abth. I, 1901, p. 437-478, carte). Une opinion différente est soutenue par F. Baron Nopcsa, *Zur Geologie von Nordalbanien* (Jahrb. k. k. Geol. Reichsanst., LV, 1905, p. 85-152, 20 fig., pl. IV : carte géol.; en particulier p. 139). Les observations de H. Vetters (Anzeiger k. Akad. Wiss. Wien, 21. Dec. 1905) montrent combien est compliquée la structure de cette région. [Voir aussi H. Vetters, *Beiträge zur geologischen Kenntniss des nördlichen Albaniens* (Denkschr. k. Akad. Wiss. Wien, Mathem.-Naturw. Kl., LXXIX, 1907, p. 201-248, 10 fig., 1 pl. carte géol.); Fr. Baron Nopcsa, *Zur Stratigraphie und Tektonik des Vilajets Skutari in Nordalbanien* (Jahrb. k. k. Geol. Reichsanst., LXI, 1911, p. 229-284, pl. XII-XXIV, dont 1 carte géol.); Fr. Baron Nopcsa und M. Reinhard, *Zur Geologie und Petrographie des Vilajets Skutari in Nordalbanien* (Anuarul Institut. Geol. României, V, 1911, p. 1-27, 1 carte tectonique hors texte et 3 pl.; Commentaire critique par L. Kober, Mitteil. Geol. Gesellsch. Wien, V, 1912, p. 490-493). Il ressort de ces récentes études que la série sédimentaire occupant le territoire de l'ancien vilayet de Scutari (Carbonifère, Trias, Jurassique, Crétacé, Éocène) a été affectée, eu même temps que les formations éruptives qui lui sont associées, par des charriages d'une énorme amplitude, dirigés vers l'Ouest. Une zone entièrement mylonitisée (schistes de Gjani) y sépare les terrains en place, affleurant dans la fenêtre ovoïde du Cukali, au centre, du plateau de l'Albanie du Nord, où les couches ont une allure tranquille, d'un côté, et du massif complexe de la Mirdita, de l'autre. Un faisceau de plis réguliers, s'orientant parallèlement au rivage, sépare cette région tourmentée de la Mer Adriatique (fig. 324).]

2. Une esquisse tectonique de l'Arménie publiée par F. Oswald indique l'existence, au Sud du Lac de Van, d'un « horst taurique » orienté N.W.-S.E. Ce horst correspond à l'inflexion, encore très mal connue, d'une partie des chaînes du Zagros; F. Oswald, *A Treatise on the Geology of Armenia*. In-8°, VIII-516 p., 34 pl. et cartes, London, 1906; en particulier p. 109 et 270. Consulter en outre, pour l'Ouest, le tracé des directrices qu'indique F. X. Schaffer, *Cilicia* (Petermanns Mitteil., Erg.-Heft n° 141, 1903, pl. I). Depuis, G. W. von Zahn (*Die Stellung Armeniens im Gebirgsbau von Vorderasien, unter besonderer Berücksichtigung der türkischen Teile*; Veröffentl. Inst. f. Meereskunde u. Geogr. Inst. Berlin, Heft 10, 1906. In-8°, VII-90 p., 4 fig., 2 pl.

Les Dinarides comprennent la Mer Adriatique jusqu'au Monte Gar-

Fig. 324. — Charriages du Nord de l'Albanie, d'après F. Nopcsa (*Anuarul Institutului Geologic al României*, vol. V, fasc. 1-a, 1911, p. 2; et *Jahrbuch der k. k. Geologischen Reichsanstalt*, LXI, 1911, pl. XII).

1. Fenêtre du Cukali (série des terrains du Trias à l'Éocène, plissés); 2. Roches éruptives triasiques du Cukali; 3. Mylonite de Gjani (schistes carbonifères et éocènes écrasés); 4. Plateau de l'Albanie du Nord (série des terrains du Carbonifère au Crétacé, non plissés); 5. Tufs intercalés dans le Trias moyen du Plateau; 6. Brèche de friction, inférieure au massif de la Mirdita; 7 et 8. Trias et roches éruptives jurassiques de la Mirdita; 9. Plis de la zone littorale (Crétacé et Éocène); 10. Affleurement des nappes de charriage. — Échelle de 1 : 750 000.

cartes) et F. X. Schaffer (*Grundzüge des geologischen Baues von Türkisch-Armenien und dem œstlichen Anatolien*; Petermanns Mittheil., LIII, 1907, p. 145-153, pl. 12 : carte) ont émis des vues différentes. Je crois devoir m'en tenir à ce qui a été dit au t. I (p. 654-659) et au t. III (1re partie, p. 416-424), en attendant que des observations plus détaillées aient été produites. [Consulter F. Oswald, *Armenien* (*Handbuch der Regionalen Geologie*, herausgegeben von G. Steinmann und O. Wilckens, 10. Heft (Bd. V, 3. Liefg.). In-8°, 40 p., 4 pl., dont 1 carte géol. et 1 carte tectonique, Heidelberg, 1912); P. Bonnet, *Structure des chaînes entre*

gano et jusqu'au Monte Conero, près d'Ancône[1], et s'étendent suivant une direction continue, mais en s'infléchissant peu à peu vers l'Ouest. le long du bord Sud des Alpes. Non seulement le plissement des arcs de bordure vers le Sud continue à y régner, mais des chevauchements tournés vers le Sud-Ouest s'y produisent dans la région où apparaît l'inflexion concave[2].

le lac Gœktchaï et l'Araxe (C. R. Acad. Sc., CLVI, 1913, 1er sem., p. 1497-1499, 1 croquis tectonique). — Une carte géologique et minière de l'Arménie, dressée d'après les travaux de F. Oswald, est jointe à l'ouvrage de L. de Launay, *La géologie et les richesses minérales de l'Asie*. In-8°, Paris, 1911, pl. VI.]

[1. Sur la structure des Dinarides en Dalmatie, le long de la Mer Adriatique, voir le résumé général de C. Diener, *Das Dinarische Faltensystem des Karstgebietes* (dans l'ouvrage : *Bau und Bild Österreichs*. Gr. in-8°, Wien-Leipzig, 1903, II. Teil, Abschnitt VI, p. 568-588, fig. 25-28). Pour des indications bibliographiques détaillées, voir N. Krebs, *Die landeskundlige Literatur der österreichischen Karstländer in den Jahren 1897-1904* (Geogr. Jahresbericht aus Österreich, red. von A. Grund und Fr. Machaček, Wien, IV, 1906, p. 119-148); D° *in den Jahren 1905-1908* (*1909*) (Ibid., red. von G. Götzinger und N. Krebs, VIII, 1910, p. 70-112). Voir aussi l'exposé d'ensemble de R. Schubert, *Die Küstenländer Oesterreich-Ungarns* (*Handbuch der Regionalen Geologie*, herausgegeben von G. Steinmann und O. Wilckens, 16. Heft (Band V, 1. Abt.). In-8°, 51 p., 10 fig. Heidelberg, 1914; renferme une Bibliographie détaillée), les guides de F. v. Kerner, *Exkursionen in Norddalmatien* (Führer für die Exkursionen in Österreich, herausgegeben von dem Organisationskomitee des IX. Internationalen Geologen-Kongresses. In-8°, Wien, 1903, n° XIII, 19 p., 9 fig.), et *Exkursionen in Süddalmatien* (Ibid., n° XIII, 24 p., 3 pl. de coupes), et ceux de R. J. Schubert, *Geologischer Führer durch Dalmatien*. In-12, XXIII-176 p., 8 fig., 1 pl. carte, Berlin, 1909 (Sammlung Geol. Führer, XIV), et *Geologischer Führer durch die Nördliche Adria*. In-12, VIII-213 p., 40 fig., Berlin, 1912 (Id., XVII). — Pour un exemple remarquable de structure imbriquée, emprunté à la partie méridionale de cette région, voir la belle carte géologique à 1 : 25 000 des environs de Budua, par G. von Bukowski, publiée par la k. k. Geologische Reichsanstalt en 1903 (*Geologische Spezialkarte*... Beilage Karte 137*a*). Voir en outre les travaux descriptifs suivants : F. v. Kerner, *Die Fenster in der Ueberschiebung am Nordfuss des Mosor* (Verhandl. k. k. Geol. Reichsanst., 1903, p. 317-324, 2 fig.); *Geologische Beschreibung des Mosor Planina* (Jahrb. d°, LIV, 1904, p. 215-342, pl. VI-VIII, dont 1 carte géol.); *Die Ueberschiebungspoljen* (Verhandl. d°, 1907, p. 287-294); L. Waagen, *Die Virgation der istrichen Falten* (Sitzungsber. k. Akad. Wiss. Wien, Mathem.-naturw. Kl., CXV, Abt. 1, 1906, p. 199-215, 1 carte); J. Schubert, *Zur Geologie der österreichischen Velebit* (Jahrb. k. k. Geol. Reichsanst,, LVIII, 1908, p. 345-386, 5 fig., pl. XVI).]

2. F. Kossmat, *Die Palæozoischen Schichten der Umgebung von Eisnern und Pölland, Krain* (Verhandl. k. k. Geol. Reichanst., 1904, p. 87-97; et ailleurs), [et *Uberschiebuugen im Randgebiete des Laibacher Moores* (Comptes Rendus IX. Congrès Géol. internat. de Vienne, 1903, fasc. I, p. 507-520, pl. I, II, dont 1 carte géol.). — Sur la région de contact des Dinarides et des Alpes, voir le dernier exposé d'ensemble de Fr. Kossmat, *Die Adriatische Umrandung in der alpinen Faltenregion* (Mitteil. Geol. Gesellsch. Wien, VI, 1913, p. 67-165, pl. III-V, dont 2 cartes géol. et tectoniques), et l'article de L. Kober, *Alpen und Dinariden* (Geol. Rundschau, V, 1914, p. 175-204, 6 fig. dont 1 carte). Voir aussi J. Kropáč, *Ueber die Lagerstättenverhältnisse des Bergbaugebietes Idria* (Berg-u. Hüttenmänn. Jahrb., Wien, LX, 1912, p. 97-146, 30 pl. : cartes et coupes); M. Limanowski, *Les grands charriages dans les Dinarides des environs d'Adelsberg* (*Postojna*). (Bull. Internat. Acad. Sc. Cracovie, Classe des Sc. Math. et Nat., Ser. A, 1910, p. 178-191, pl. 3, 10 fig. d. l. t.), et *Die tektonischen Verhältnisse des Quecksilberbergbaus von Idria* (Ibid., p. 367-371, pl. IV : coupe). — G. Dal Piaz et G. Boyer ont montré, tout récemment, qu'une grande partie des prétendues « fractures » signalées dans la région périadriatique correspondaient en réalité à de simples plis : G. Dal Piaz, *Studi geotettonici sulle Alpi Orientali. Regione fra il Brenta e i dintorni del Lago di Santa Croce* (Mem. Inst. Geol. R. Università di Padova, I, 1912, p. 1-195, 22 fig., 7 pl., 8 coupes col.); G. R. Boyer, *Étude géologique des Environs de Longarone, Alpes Vénitiennes* (Bull. Soc. Géol. de France, 4e sér., XIII, 1913, p. 451-485, 7 fig., pl. X : carte géol.).]

Les rapports des *volcans* avec la structure des montagnes ne se manifestent pas partout aussi nettement que dans la périphérie orientale de l'Asie, et ils sont situés plus à l'intérieur. Dans l'arc de Yarkend, il n'y à guère à citer que la zone basaltique du Stok, qui se présente associée à l'Éocène au Sud de la chaîne gneissique du Ladak; nous aurons à en reparler plus loin[1].

Un segment de ligne courbe caractérisée par de puissants volcans entoure au Sud la dépression de l'Hilmend (Koh-i-Sultan, etc.). Un peu plus au Sud-Ouest et à l'extérieur se trouve le Koh-i-Tafdan (4 111 m.), puis, à partir de là, les volcans semblent se disposer en une zone commune, s'intercalant au milieu des coulisses suivant la direction N.W. Le Koh Hazar, au Sud de Kirman, appartient probablement à cette traînée, que l'on a suivie jusqu'au-delà de 35° de lat. N.[2]. A l'approche du rebroussement, la même direction N.W. se retrouve bien, par exemple au Lac Goktchai, mais le nombre des volcans augmente beaucoup; ils arrivent jusqu'aux chaînes orientées S.W. de l'arc Taurique, et l'on ne peut discerner aucune règle dans leur distribution. Dans l'angle même du rebroussement se dressent les deux chaînes parallèles de l'Ararat (5 199 m.) et du Tandourek-Aladagh.

Sur l'arc secondaire de l'Elbourz se trouve le Demavend, qui constitue un exemple de volcan perché sur une crête[3]; cette coïncidence fort rare, le fait est remarquable, se reproduit dans la branche suivante des Altaïdes, le Caucase[4] avec le Kazbek et l'Elbrouz (fig. 325).

C'est seulement à l'intérieur des Taurides, sur le bord de la dépression de Lycaonie, qu'un fragment de série curviligne redevient visible (Mont Argée ou Erdjiaz-Dagh, etc.)[5].

A l'intérieur des Dinarides, un arc volcanique court de Nisyros jusqu'au-delà de Santorin.

Dans tout le domaine des arcs de bordure, à l'exception des Dinarides, il se forme des cloisons si bien fermées que des régions sans écoulement prennent naissance. Dans le premier arc, c'est le bassin du Tarim[6], dans le second, ceux de l'Hilmend et de la Caspienne méri-

[1. Voir ci-après, p. 1501 et suiv.]

[2. Sur les grands volcans de Baloutchistan (III, 1re partie, p. 379-380), consulter le rapport de E. Vredenburg, *A Geological Sketch of the Balúchistan Desert and Part of Eastern Persia* (Mem. Geol. Survey of India, XXXI, part 2, 1901, p. 270-287, pl. IV et XIV-XVI, cartes 2 et 3).]

[3. Voir III, 1re partie, p. 382, fig. 65.]

[4. F. Loewinson-Lessing, *Les volcans et les laves du Caucase Central* (Isviestiia Institut Polytech. Pierre-le-Grand, St-Pétersbourg, XX, 1913, p. 193-288 et 491-528, pl. I-XXI et 2 cartes géol. (r.); renferme, p. 202-204, une liste de publications relatives aux formations volcaniques du Caucase Central).]

5. A. Penther, *Eine Reise in das Gebiet der Erdschias-Dagh, Kleinasien* (Abhandl. k. k. Geogr. Gesellsch. Wien, VI, 1905, p. 1-48, 5 pl., 1 carte topogr. à 1 : 80 000).

[6. Sur le bassin du Tarim, voir les études si complètes de Sven Hedin, *Scientific*

dionale, dans le troisième, la dépression de Lycaonie. La ceinture dinarique s'ouvre à l'accès de la mer.

Le résultat de ces comparaisons est que les Antilles Tropicales (et probablement aussi les Antilles Australes), les Alaskides et toutes les guirlandes insulaires jusqu'aux Philippines, ainsi que les Océanides, puis, en Asie, l'arc Birman, tourné en sens inverse, affectent une disposition zonaire analogue, et que cette même disposition se retrouve, bien que moins accusée, dans les arcs méridionaux de bordure, qui sont situés en grande partie à l'intérieur du continent.

Un fait frappant demeure : c'est la répétition constante de l'arc des volcans actifs à l'intérieur de la zone de déversement externe (*Zone der Vorfaltung*).

Analyse de quelques coupes transversales. — Sur les continents, le remplissage des dépressions, la dénudation générale et l'avancée des chaînes de montagnes travaillent de concert à masquer les avant-fosses; néanmoins, l'on reconnaît que, d'ordinaire, soit une longue zone externe de sédiments récents et épais, comme le Flysch, soit une large vallée, comme celle du Gange ou du Guadalquivir, jalonnent la limite même de l'avant-

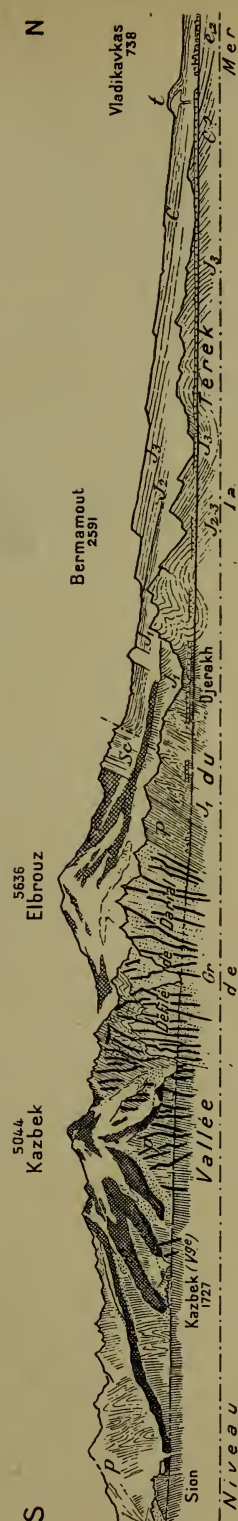


Fig. 325. — Les volcans du Caucase Central (Vallée du Terek), d'après Alb. Heim (*Vierteljahrsschrift d. Naturforsch. Gesellsch. in Zürich*, XLIII, 1898, pl. II, fig. 1).

Gr. Granite *Sc.* Gneiss à séricite; *p.* Terrains paléozoïques; J_1. Lias; J_{2-3}. Jurassique (Dogger et Malm); *c.* Crétacé; e_3. Éocène; *t.* Trachyte (intrusif). — Le grisé croisé représente les laves andésitiques récentes, le noir plein les roches basiques en filons dans *Gr* et *p*. — Échelle de 1 : 250 000 (longueurs et hauteurs).

Results of a Journey in Central Asia, 1899-1902. In-4°, Stockholm, 1905, en particulier vol. II, chap. XXV-XLII : General Hydrography of the Tarim System. The Hypsometrical Relations of the Tarim Basin (p. 501-596, pl. 57-61c, dont 3 cartes). Voir aussi la belle carte à 1 : 3 000 000 de M. A. Stein : *Map showing portions of Chinese Turkestan and Kansu*, to illustrate the Explorations of Dr. M. A. Stein and his assistants R. B. Lal Singh and R. S. Ram Singh, 1906-08 (Geogr. Journ., London, XXXVII, 1911, p. 348; reprod. dans l'ouvrage du même voyageur : *Ruins of Desert Cathay. Personnal Narrative of Explorations in Central Asia and Westernmost China.* 2 vol. in-8°, nombreuses illustr., London, 1912 (vol. I, Map 1).]

pays. Plus souvent, il est vrai, toute trace de ce genre fait défaut, et l'on ne voit pas s'il a jamais existé une avant-fosse, ou si les montagnes ont été charriées par-dessus toute la largeur du sillon correspondant.

Bien que les Alpides résultent d'un plissement posthume survenu à l'intérieur d'un cadre, et représentent une exception, les faits y sont connus avec une telle exactitude que nous leur emprunterons un premier exemple.

En avant des Alpes se trouvent deux zones sédimentaires d'une

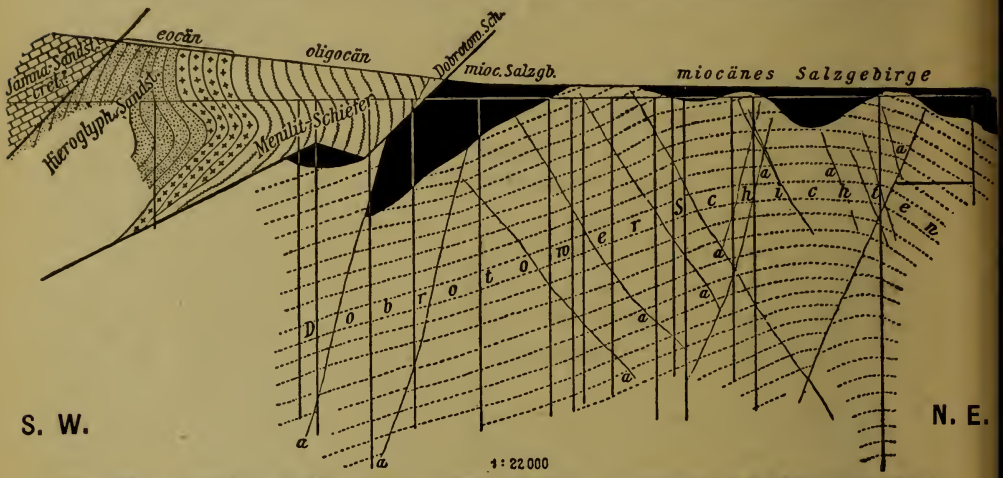


Fig. 326. — Sondages profonds de Boryslaw, d'après J. Grzybowski et P. Miaczynski (*Atlas Geologiczni Galicyi*, publié par la Commission Physiographique de l'Académie des Sciences de Cracovie, feuille 6, 1906).

a, *a*. Fentes contenant de l'Ozocérite. — Échelle de 1 : 22 000.

épaisseur variable, mais souvent considérable, le Flysch et la Mollasse méditerranéenne, au-dessous de laquelle se montrent, à l'Est, les couches puissantes de Dobrotow, appartenant à l'Oligocène supérieur,

Près de *Boryslaw* (III, 2e partie, p. 855), de nombreux sondages exécutés pour la recherche de l'ozocérite, et descendant parfois jusqu'au delà de 1 000 mètres, ont permis d'élucider la structure du pays : le bord externe du Flysch, formant des écailles multiples, a été poussé par-dessus le terrain salifère méditerranéen et les couches de Dobrotow. Le Miocène et l'Oligocène plongent, sans aucun indice de relèvement, sous les Carpathes. Les couches de Dobrotow ont d'ailleurs été ployées en une voûte de grand rayon, sous l'influence de la pression générale venant du Sud (fig. 326).

Telle est peut-être, plus à l'Ouest, l'origine des anticlinaux écrasés que l'on observe dans le terrain salifère de Bochnia et de Wieliczka. Plus à l'Ouest encore, aux environs d'Ostrau et de Weisskirchen, le Flysch (zone sub-beskidique et zone beskidique) repose sur le terrain

houiller de l'avant-pays varisque. De même, encore plus au Sud, là où le terrain jurassique de Nikolsburg, qui est superposé à l'avant-pays, affleure sous la bordure extrême du Flysch (Klippes autochtones d'Uhlig), la situation peut être analogue. Puis, dans la Basse-Autriche, le contraste entre le Massif Bohémien et les Alpes s'accentue : les deux régions demeurent séparées par une zone méditerranéenne étroite,

Fig. 327. — La vallée du Rhin près de Bâle, d'après G. Steinmann (*Berichte der Naturforsch. Gesellsch. Freiburg i. B.*, VI, 1892, p. 15).

Nomenclature des chaînons : I. Bürgerwald; II. Flühen; III. Blauenberg; IV. Bueberg; V. Movelier; VI. Mont-Terrible; VII. Clos du Doubs; VIII, La Caquerelle; IX. Mont; X. Rothmatte; XI. Raimeux; XII. Hauenstein; XIII. Weissenstein; XIV. Chasseral; XV. Ste-Vérène.
Échelle de 1 : 800 000 env.

mais nettement délimitée. Encore plus à l'Ouest se trouve la localité de la Haute-Autriche où, comme on l'a vu, à 17 kilomètres du bord visible du Massif Bohémien et à 26 kilomètres du pied des Alpes, le gneiss de Bohême a été atteint par un sondage au-dessous de 1 037 mètres de sédiments d'âge tertiaire moyen, sans que l'on ait rencontré de traces des terrains alpins. En Bavière, le bord de l'avant-pays, qui est jalonné à partir de Ratisbonne par la faille (flexure) du Danube, s'éloigne des Alpes, et la Mollasse bavaroise n'a pas été traversée jusqu'à sa base sur 600 à 700 mètres d'épaisseur.

A partir de la Forêt-Noire, les circonstances changent. La Chaîne du Jura, quoique refoulée vers l'avant-pays, est collée contre ce massif. Le fossé Rhénan répond à une lacune, dans laquelle certaines rides pénètrent comme les vagues dans un golfe.

Les figures 327 (d'après un premier croquis schématique de Steinmann) et 328 (d'après F. von Huene) illustrent cette situation. Près de Kandern, une fracture détermine l'affaissement du Dinkelberg, qui est la suite du Jura tabulaire. Ceci représente l'avant-pays, qui disparaît au Sud sous la chaîne du Mont-Terrible et sous les chevauchements énergiques qui lui succèdent plus à l'Est. Dans la partie Sud-Ouest du Jura tabulaire se développe à la descente un champ de fractures, dans lequel non seulement pénètre, au Sud de Liestal, la trace d'un arc jurassien, mais où l'on remarque en outre, au Nord de cette ville, l'amorce d'un second arc semblable, dont le prolongement dans

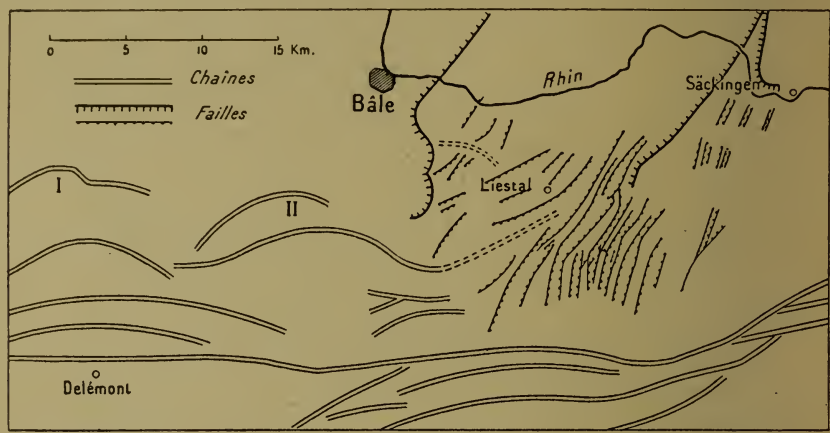


Fig. 328. — Champ de fractures du Jura tabulaire, d'après F. von Huene (*Verhandl. d. Naturforsch. Gesellschaft in Basel*, XII, 1900, p. 340, fig. 2).

I. Chaîne du Bürgerwald; II. Chaîne du Flühen. — Échelle de 1 : 500 000.

le fossé Rhénan est inconnu. Le Bürgerwald et la chaîne du Flühen sont les plus avancés des anticlinaux pénétrant dans le *graben*; d'autres les suivent. Il semble que, près de Liestal, un nouvel affaissement se soit produit pendant que ces plis incurvés se propageaient[1].

Ces rapports étroits avec l'avant-pays persistent, et dans l'Est du Plateau Central, on observe même, d'après Aug. Michel-Lévy, une réaction des montagnes sur cet avant-pays.

La limite septentrionale des Alpes, qui est si accusée, ne disparaît pas.

1. G. Steinmann, *Bemerkungen über die tektonischen Beziehungen der oberrheinischen Tiefebene zu dem nordschweizerischen Kettenjura* (Berichte Naturforsch. Gesellsch. Freiburg i. B., VI, 1892, p. 150-159); F. von Huene, *Geologische Beschreibung der Gegend von Liestal im Schweizer Tafeljura* (Verhandl. Naturforsch. Gesellsch. Basel, XII, 1900, p. 293-372, pl. V-VI dont 1 carte); voir aussi A. Tobler, *Der Jura im Südosten der oberrheinischen Tiefebene* (Ibid., XI, 1896, p. 284-369, pl. IV-V dont 1 carte), et A. Buxtorf, *Ueber vor- oder altmiocäne Verwerfungen im Basler Tafel-Jura* (Eclogæ Geol. Helv., VI, 1900, p. 176-177); Ed. Greppin, *Zur Kenntnis des geologischen Profiles am Hörnli bei Grenzach* (Verhandl. Naturforsch. Gesellsch. Basel, XVIII, 1906, p. 371-378, pl. II). [Voir aussi Emm. de Margerie, *La structure du Jura* (Actes Soc. Helv. Sc. Nat., 92e Sess., Lausanne, 1909, I, p. 40-68; en particulier p. 43).]

Elle suit le bord Sud de la Mollasse jusqu'au Lac Léman; et s'il existait, à l'époque miocène, une avant-fosse ou tout au moins une tendance à la formation d'un accident de ce genre, cette dépression se trouvait en plein territoire helvétique, entre les Alpes et le Jura, et devait présenter une certaine analogie avec la Fosse du Caïman, dans la Mer des Antilles.

D'autres exemples se dégagent des chapitres précédents. On en connaît aussi dans lesquels l'avant-pays, débordé par les charriages, reparaît au jour à l'intérieur du territoire plissé.

Dans la zone de dislocation Calédonienne, Nicol avait reconnu dès 1844 qu'une série de couches recouvrant le gneiss à l'Ouest (dans l'avant-pays), s'enfonce d'autre part, à l'Est, sous la même roche; en 1860, le même observateur annonçait d'une façon positive que ce gneiss oriental avait été ramené par-dessus les couches sédimentaires, à la faveur d'une dislocation : Nicol nous apparaît ainsi comme l'un des précurseurs des idées tectoniques modernes. Le progrès des recherches poursuivies par le Service géologique de la Grande-Bretagne, et en particulier les travaux de Peach et Horne, de même que l'examen des roches cristallines anciennes dû à Teall, ont jeté une vive lumière sur la structure de ce territoire. Le gneiss venant de l'Est a bien réellement été charrié, à l'état de paquets dont l'épaisseur peut atteindre 1 500 pieds (450 mètres), par-dessus la série des couches pré-cambriennes et cambriennes qui, dans l'avant-pays, surmontent ce même gneiss comme des terrains autochtones[1].

1. B. N. Peach, J. Horne, W. Gunn, C. T. Clough and L. W. Hinxman, *The Geological Structure of the North-West Highlands of Scotland*, with petrological Chapters and Notes by J. J. H. Teall, edited by Sir Arch. Geikie. In-8°, XVIII-668 p., 66 fig., 52 pl., 1 carte géol., 1907 (Mem. Geol. Survey of Great Britain). Cet ouvrage renferme, p. 11-32, un historique qui met en évidence l'éclaircissement graduel des idées. Nous ne reviendrons pas sur la structure des Calédonides en Scandinavie, où les chevauchements se produisent des deux côtés à la fois, ni sur les tentatives faites pour l'expliquer (III, 1re partie, p. 524); toutefois, l'hypothèse d'après laquelle les lambeaux de recouvrement, formés de roches plus ou moins analogues à des gneiss, appartiendraient à une transgression dévonienne, n'est guère capable de conduire à une solution. Elle présuppose de profonds changements dynamiques, et par conséquent de grands mouvements tectoniques après l'époque dévonienne, qui ne sont nullement justifiés par ailleurs; voir K. O. Björlykke, *Det Centrale Norges fjeldbygning* (Norges Geol. Undersögelse, n° 39, 1905. In-8°, 595 p., 1 carte géol., nombreuses fig.). [Sur les charriages de la Scandinavie, voir le précieux manuel de A. G. Högbom, *Fennosskandia*, 1913 (cité ci-dessus, p. 1363), p. 54-76 et 137; consulter en outre les mémoires suivants : P. J. Holmquist, *En geologisk profil öfver den Skandinaviska fjällkedjan vid Torneträsk* (Geol. Fören. i Stockholm Förhandl., XXV, 1903, p. 27-78, 13 fig., pl. 1-3, dont 1 carte géol.; Appendice, p. 373-389, 2 fig., pl. 12); A. G. Högbom, *Studies in the post-silurian Thrust-Region of Jämtland* (Livret-guide des Excursions en Suède du XIe Congrès Géol. Internat., Stockholm, 1910, n° 2; in-8°, 58 p., 7 fig., 4 pl. dont 3 cartes; renferme une bibliographie); P. J. Holmquist, *Die Hochgebirgsbildungen am Torneträsk in Lappland* (Ibid., n° 6; 71 p., 34 fig., 1 pl. carte géol.; renferme une bibliographie); A. Hamberg, *Gesteine und Tektonik des Sarekgebirges nebst Überblick der skandinavischen Gebirgskette* (Ibid., n° 9; 44 p., 6 fig., 1 carte géol.); W. von Seidlitz, *Über Granit-Mylonite und ihre tektonische Bedeutung* (Geol. Rundschau, Leipzig, I,

Des phénomènes analogues peuvent avoir ramené au jour, dans les massifs de gneiss de la zone du Mont-Blanc, le soubassement varisque[1].

Il n'y a pas plus de quelques dizaines d'années, la notion que les Carpathes s'avancent au loin, par-dessus un avant-pays présentant une constitution différente, suscitait encore des doutes graves. Mais, bientôt, l'on s'aperçut que ce qui avait été dit jusque-là sur la structure dissymétrique des Alpes, refoulées vers le Nord, ne représentait qu'une fraction minime de ce qu'offre la nature. Ce que l'œil voyait passait pour physiquement impossible. Aujourd'hui, l'on connaît à travers la longue chaîne des Alpides, de la fenêtre du Paring jusqu'au Cap de la Nao, à l'extrémité de la Cordillère Bétique, des charriages affectant des massifs entiers, sur des distances énormes; et la fenêtre de la Haute-Tatra se reproduit dans les Pyrénées, par exemple aux Trois Seigneurs[2].

On peut se demander si ces phénomènes inattendus sont en

1910, p. 188-197; bibliographie); W. von Seidlitz, *Das Sarekgebirge in Schwedisch-Lappland. Bericht über die Hochgebirgsexkursion des Stockholmer Geologen-Congresses* (Ibid., II, 1911, p. 25-37, 5 fig. dont 1 carte, pl. I-IV : photogr.); Fr. Svenonius, *Die Schwedische Hochgebirgsfrage. Einige Bemerkungen zu Dr. W. v. Seidlitz' Aufsatz* (Ibid., II, 1911, p. 187-196); Axel Hamberg, *Die Schwedische Hochgebirgsfrage und die Häufigkeit der Ueberschiebungene. Eine Erwiderung an Dr. F. Svenonius* (Ibid., III, 1912, p. 219-236); W. v. Seidlitz, *Das schwedische Hochlandsproblem. Eine Antwort an Dr. Fredr. Svenonius* (Centralblatt f. Min., 1912, p. 369-378); P. Termier, *L'Excursion A_2 du XIe Congrès Géologique International. Les charriages de la chaîne scandinave* (Bull. Soc. Géol. de Fr., 4e sér., X, 1910, p. 752-777).]

[1. J. Kœnigsberger, *Über Analogien zwischen der ersten Zone der Westalpen und benachbarten Massive* (Geol. Rundschau, III, 1912, p. 319-323).]

[2. Voir L. Bertrand, *Tectonique de la feuille de Foix. Notice explicative des coupes géologiques annexées à cette feuille* (Bull. Service Carte Géol. de la France, XXII, 1912-1913, n° 134, p. 225-240, pl. I, contenant 2 cartes, et une grande feuille de coupes libre à 1 : 80 000). Sur les charriages pyrénéens, consulter en outre la note de P. Termier et L. Bertrand, *Sur la tectonique du pays basque français* (C. R. Acad. Sc., CLIII, 1911, 2e sem., p. 919-924) et surtout l'important mémoire synthétique de L. Bertrand, *Sur la structure des Pyrénées Occidentales et leurs relations avec les Pyrénées Orientales et Centrales; essai d'une carte structurale des Pyrénées* (Bull. Soc. Géol. de Fr., 4e sér., XI, 1911, p. 122-153, 6 fig., pl. I : esquisse structurale des Pyrénées, en couleurs, à 1 : 800 000). — Pour un exposé détaillé de l'hypothèse contraire, d'après laquelle les terrains de la chaîne pyrénéenne n'auraient pas subi de déplacements horizontaux importants, voir L. Carez, *Résumé de la Géologie des Pyrénées Françaises* (Mém. Soc. Géol. de France, 4e sér., II, Mém. n° 7, 1912. In-4°, 132 p., 7 pl. col., dont 1 carte tectonique générale et 5 cartes paléogéogr. à 1 : 500 000). — Sur les charriages du versant espagnol, où le raccord des nappes ne semble pas encore établi d'une manière définitive, voir M. Dalloni, *Stratigraphie et Tectonique de la région des Nogueras, Pyrénées Centrales* (Bull. Soc. Géol. de France, 4e sér., XIII, 1913, p. 243-263, carte tectonique dans le texte); Ch. Jacob et P. Fallot, *La nappe de charriage du Montsech, en Catalogne* (C. R. Acad. Sc., CLVIII, 1914, 1er sem., p. 1222-1224); M. Dalloni, *Sur la tectonique des Pyrénées Catalanes et la prétendue nappe du Montsech* (Ibid., p. 1724-1726). — Sur les prolongements des Pyrénées proprement dites vers l'Ouest et le rôle qu'y jouent les phénomènes de charriage, voir L. Bertrand et L. Mengaud, *Sur l'existence de plusieurs nappes superposées dans la Cordillère Cantabrique entre Santander et Llanes* (Ibid., CLV, 1912, 1er sem., p. 737-740); *Sur la structure des Pyrénées Cantabriques et leurs relations probables avec les Pyrénées Occidentales* (Ibid., p. 984-987); *Sur la structure des Pyrénées Cantabriques, entre Santander et Llanes, et leurs relations probables avec les Pyrénées* (Bull. Soc. Géol. de France, 4e sér., XII, 1912, p. 504-515, fig. 1-9, dont 1 carte géol.); L. Mengaud, *Sur la tectonique des environs d'Infiesto, Arriondas et Rivadesella, Asturies* (C. R. Acad. Sc., CLVIII, 1914, 1er sem., p. 1381-1383).]

relation de cause à effet avec la situation exceptionnelle de ces montagnes, à l'intérieur du cadre des Altaïdes, et avec la concentration de toute l'activité orogénique sur cette partie limitée du méridien. La méthode comparative peut, seule, permettre de répondre à cette question. Pour atteindre ce but, nous choisirons trois types d'âge différent : la zone d'Erriboll dans les Calédonides, le bassin houiller franco-belge dans l'édifice varisque, — exemple dont la comparaison avec les chaînes plus récentes a fourni jadis à Marcel Bertrand des résultats si instructifs, — et enfin certaines parties des Alpes.

Il a été question, dans un précédent volume de cet ouvrage, des mouvements violents et d'un caractère particulier qui se produisent quand un courant d'eau (II, p. 572) ou de glace (II, p. 573, fig. 107, et p. 591, fig. 108) doit franchir un passage dont la largeur est réduite. Le courant s'enfonce, affouille le sol avec une énergie extraordinaire, transporte de bas en haut des blocs fort lourds et les étale en arc de cercle. L'*Inlandsis*, en s'insinuant entre les nunataks, augmente de vitesse, ramène des parties inférieures la moraine de fond, et l'étale en un hémicycle qui surmonte les glaces adjacentes. Celles-ci jouent le rôle de l'avant-pays, et la figure 107 montre même, au Sud de Nasausak, deux arcs situés l'un derrière l'autre.

Quelque différents que ces exemples puissent être des mouvements orogéniques, ils n'en attestent pas moins des mouvements d'une amplitude considérable vers l'extérieur, et la tendance qu'ils affectent de se manifester à la surface sous la forme de segments circulaires réguliers.

C'est surtout dans les Alpes qu'on peut distinguer trois horizons dans les mouvements. Les premiers sont ceux qui affectent les parties les plus élevées et qui, par suite, ont eu le plus à souffrir de la dénudation. Les nappes s'élèvent des profondeurs en remontant sur un « plancher » faiblement incliné (*ansteigende Sohle*), puis atteignent et souvent dépassent une « ligne culminante » (*Joch*), en se moulant par-dessus sous forme de *carapace*, pour employer le mot dont se sert M. Lugeon ; enfin, au-delà de cette voûte, la nappe devient « plongeante » (*fallende Sohle*)[1]. Il est possible que, dans ce dernier tronçon, la pesanteur ait accéléré la descente et ait produit des déchirures, en déterminant le phénomène que Reyer a désigné depuis longtemps sous le nom de *Gleitfaltung* (« plissement par glissement »). Au-delà de la surface plongeante, ou bien la nappe se résout en lambeaux de recouvrement simples ou perchés sur les sommets, ou bien il peut arriver que le mouvement de la nappe s'arrête au plan de charriage, tandis que la partie supérieure des couches qui la constituent continue à s'avancer :

[1. Voir III, 2e partie, p. 849, fig. 181.]

les choses se passent à peu près comme dans une coulée de lave, où les scories de la surface, qui cheminent plus vite, tombent par rotation à la partie frontale au-dessous de la lave, et forment à la partie inférieure de la coulée un revêtement continu. C'est le « pli de torsion » (*Drehfalte*). Parfois, les extrémités de ces nappes sont disposées en « cuvettes » (*Pfannen*), dont quelques-unes peuvent avoir été creusées par le charriage et dont d'autres ne sont peut-être dues qu'à la surcharge.

La voûte médiane peut être due à la présence d'un corps étranger, ou résulter de l'empilement de nappes préexistantes. Il faut avoir soin de distinguer les effets d'un plissement postérieur.

A une profondeur encore plus considérable sont situées les grandes surfaces de charriage, suivant lesquelles se produisent les mouvements les plus énergiques, comme ceux des Dinarides par rapport aux Alpes[1]; provisoirement, on ne peut dire qu'une chose à leur sujet, c'est qu'il semble tout à fait impossible d'en attribuer l'origine à des plis.

a) *La zone d'Erriboll* (II, p. 125; III, 1re partie, p. 526). — Dans cette région, comme nous l'avons déjà vu, Nicol, Lapworth, Hicks et Callaway ont fait connaître de grands chevauchements, et le Service géologique, par l'organe de Peach, Horne et leurs collaborateurs, a fourni l'une de ces monographies magistrales dont on peut dire qu'elles rendent les montagnes transparentes[2]. La direction est N.N.E.; le mouvement vient de l'E.S.E.; c'est également de cette partie de l'horizon que viennent les surfaces de charriage ascendantes. Ces plans de glissement résultent en partie de plis renversés; d'autres surfaces, donnant lieu à la structure imbriquée, ne proviennent pas d'un plissement, et leur inclinaison n'est pas la même que celle des grands plans de charriage (*major thrusts*). Ces derniers oscillent quelque peu en direction et en inclinaison, le pendage étant en général assez faible. Chacun des plans de charriage peut être dépassé par l'un des suivants. Pardessus, les roches orientales peuvent être amenées vers l'Ouest, en recoupant tous les autres accidents, jusque dans l'avant-pays. Même le gneiss de l'Est peut venir en contact avec les couches cambriennes non dérangées de l'Ouest. Au front des nappes en marche, le frottement qui se produit à la partie inférieure peut faire naître une tendance au renversement dans les couches voisines de la bordure, et la partie supérieure peut ainsi s'enfoncer de haut en bas sous la nappe elle-

[1. Voir sur cette question : L. Kober, *Alpen und Dinariden* (Geol. Rundschau, V, 1914, p. 175-204, 6 fig. dont 1 carte), et *Die Bewegungsrichtung der alpinen Deckengebirge des Mittelmeers* (Petermanns Mitteil., LX (1), 1914, p. 250-256, pl. 26, 27 : carte et coupes); R. Schwimmer, *Dinariden und Alpen* (Geol. Rundschau, VI, 1915, p. 1-22; bibliographie de 36 art.)]

2. *The Geological Structure of the North-West Highlands of Scotland*, p. 463 et suiv.

même, sous du gneiss, par exemple. La coupe devient alors analogue à celle d'un pli couché, comme au Ben More (fig. 329).

Sur l'extrême bordure occidentale se présentent des plis renversés ou imbriqués, et aussi des lambeaux de recouvrement limités par des accidents circulaires; c'est le phénomène de la *cuvette*, dont plusieurs exemples peuvent même se succéder l'un à la suite de l'autre : tel est le cas au Loch Lamarscaig, en particulier[1].

Parmi les nombreux et intéressants détails contenus dans le mémoire

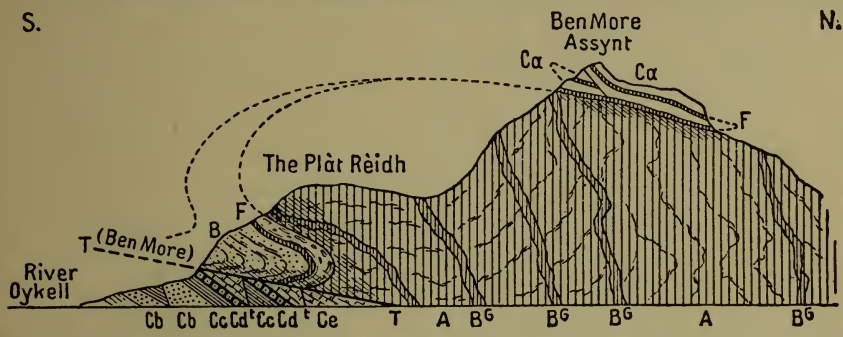


FIG. 329. — Pli de torsion du Ben More (Assynt), d'après B. N. Peach, J. Horne, etc. (*The Geological Structure of the North-West Highlands of Scotland*; Mem. Geol. Survey of Great Britain. In-8°, 1907, p. 517, fig. 35).

A. Gneiss ancien; BG. Dykes de basalte dans le Gneiss; B. Grès de Torridon (Précambrien); C. Cambrien (*Ca*. Quartzites de base; *Cb*. « Pipe-rock »; *Cc*. Couches à Fucoïdes; *Cd*. Grès à Serpulites; *Ce*. Calcaires); F. Roches intrusives; T. Plan de poussée du Ben More; *t*, *t*. Plans de poussée secondaires. — Échelle de 1 : 30 000 environ.

qui nous sert de guide, signalons encore le fait suivant : au Nord, à l'Ouest du Loch Erriboll, des fragments de l'avant-pays s'affaissent le long de failles dont le rejet atteint une amplitude considérable, en entraînant dans cette descente les restes des masses de charriage qui leur sont superposées. Ces failles sont en partie longitudinales et en partie transversales (décrochements?), et l'une de ces dernières détermine un rejet horizontal de 8 kilomètres environ. La dépression, affectant l'allure d'un fossé, a reçu le nom de Durness Basin[2].

Dans la zone d'Erriboll, il existe donc plusieurs surfaces de chevauchement ascendantes; en leur qualité de *major thrusts*, elles ont reçu des noms spéciaux, tels que *Moine thrust*, *Glencoul thrust*, etc. La voûte culminante est souvent représentée dans les coupes par une ligne ponctuée. On ne signale guère de surfaces plongeantes; toutefois, dans l'Ouest, il existe des cuvettes typiques, avec lambeaux de recouvrement.

b) *Le bassin houiller franco-belge* (I, p. 182; II, p. 139). — La

1. *The Geological Structure of the North-West Highlands of Scotland*, p. 593, fig. 66.
2. Mém. cité, p. 479, 487, fig. 20, 23.

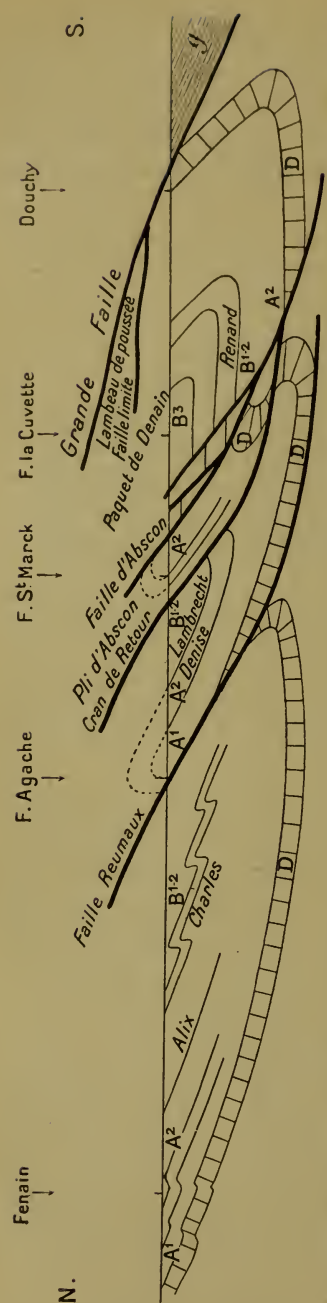


Fig. 330. — Coupe théorique du Bassin houiller du Nord, à l'Ouest de Denain, d'après Ch. Barrois (*Annales Soc. Géol. du Nord*, XXXVIII, 1909, p. 323, fig. 10).

g. Terrain dévonien (Gédinnien, etc.); D. Calcaire carbonifère; A. Zone à *Neuropteris Schlehani* (A¹, horizon de Flines; A², horizon de Vicoigne); B. Zone à *Lonchopteris Bricei* (B¹, horizon d'Anzin et d'Aniche; B², horizon de Douai; B³, horizon de Denain). F = Fosse.

faille du Midi joue, dans ce bassin, un rôle analogue à celui qui, en Écosse, revient au Moine thrust, et les mouvements paraissent même, cette fois, se confondre davantage encore en atteignant cette surface de discontinuité. Elle fait remonter sur le terrain houiller, du Sud au Nord, le Silurien et le Dévonien (fig. 330), et elle existe des deux côtés du rebroussement de Valenciennes [1].

A l'Ouest, près de Lens, dans le Pas-de-Calais, d'après Barrois, son inclinaison est inférieure à 25 degrés; les couches houillères productives qu'elle surmonte sont comprimées en un synclinal plongeant vers le Sud. Un paquet de terrains renversés est visible au bord de la faille du Midi; c'est ce

[1. Sur la structure générale du bassin houiller du Nord et du Pas-de-Calais, consulter : Küss, *Les coupes du bassin du Nord et du Pas-de-Calais offertes au Musée houiller de Lille par la Chambre des Houillères* (Annales Soc. Géol. du Nord, XXXIV, 1905, p. 398-407); Ch. Barrois, *Exposé de l'état des connaissances sur la structure géologique du Bassin Houiller dans le Département du Nord* (Assoc. Fr. pour l'Ass. des Sc. : *Lille et la Région du Nord en 1909*. In-4°, II, Lille, 1909, p. 156-177, 1 carte h. t., 10 fig.); reprod. Annales Soc. Géol. du Nord, XXXVIII, 1909, p. 295-326, 10 fig.); Mettrier, *L'Industrie houillère du département du Nord* (Ibid., XXXVIII, 1909, p. 326-347); E. Gruner et G. Bousquet, *Atlas général des Houillères*... Première partie. Planches. In-folio, Paris, 1909, pl. III-VI, carte à 1 : 100 000, avec coupes; Texte. In-8°, Paris, 1911, p. 53-64; *The Coal Resources of the World*, 3 vol. in-8° et 1 atlas in-folio, Toronto, 1913 (II, p. 652-667 : M. Defline, *Les ressources de la France en combustibles minéraux;* Maps n° 30-31, fig. 2-8 : carte et coupes).]

que Gosselet a désigné sous le nom de « lambeau de poussée »[1].

Au sommet du rebroussement, et en dépit de tous les accidents secondaires, les mêmes veines de houille se continuent, d'après les études de Chapuy, de la région armoricaine dans la région varisque[2]. C'est là que Marcel Bertrand a dessiné la coupe qui servit de point de départ à ses comparaisons avec les plis de la Provence et avec les Alpes, comparaisons qui ont exercé une si grande influence sur l'interprétation de la structure de ces montagnes. Suivons d'abord la terminologie adoptée à cette époque.

FF (fig. 331) est la faille du Midi; *sil.* et *d.*, qui la surmontent,

Fig. 331. — Allure du terrain houiller aux environs de Denain et d'Anzin, d'après M. Bertrand (*Annales des Mines*, 9e sér., XIV, 1898, pl. I, fig. 3).

sil. Silurien; *d.* Dévonien; *ca.* Calcaire carbonifère; *h.* Terrain houiller productif. FF. Surfaces de dislocation. — Échelle de 1 : 80 000.

représentent le « massif charrié »; le terrain situé en avant est recoupé par un nouvel accident F, de telle sorte qu'il y a production d'un « lambeau de poussée » et d'une « lame de charriage », et qu'en avant de l'un et de l'autre, extérieurement à la dislocation principale, se trouve encore une étroite zone limite, où les couches sont « retroussées ». Tous ces éléments reposent sur le bassin houiller principal (*ca* et *h*); M. Bertrand supposait qu'ils s'étaient enfoncés par leur propre poids[3]. Auparavant, dès 1877, Cornet et Briart avaient cherché

1. Ch. Barrois, *L'extension du Silurien supérieur dans le Pas-de-Calais* (Annales Soc. Geol. du Nord, XXVII, 1898, p. 212-225); Gosselet, *L'Ardenne*. In-4°, 1888, p. 735. [Voir aussi E. Cuvelette, *Note au sujet des recherches exécutées depuis 1896 pour reconnaître l'extension méridionale du bassin houiller du Pas-de-Calais* (Bull. Soc. Industrie Minérale, 4e sér., V, 1906, p. 453-499, 14 fig., 1 carte h. t.); Ch. Barrois, *Note sur quelques sondages profonds exécutés entre Douai et Arras par la Compagnie de Châtillon-Commentry* (Annales Soc. Géol. du Nord, XLII, 1913, p. 2-20, pl. I : coupes).]

2. Chapuy, *Note sur la constitution du Midi du Bassin houiller de Valenciennes, partie comprise dans le département du Nord* (Annales des Mines, 9e sér., VIII, 1895, p. 192-217, pl. III, IV : carte et coupes).

3. Marcel Bertrand, *Sur le raccordement des bassins houillers du Nord de la France et du Sud de l'Angleterre* (Annales des Mines, 9e sér., III, 1893, p. 5-83, pl. I, II : cartes); le même, *Études sur le bassin houiller du Nord et sur le Boulonnais* (Ibid., 9e sér., V, 1894, p. 569-635, pl. X, XI : coupes et carte); le même, *Le bassin crétacé de Fuveau et le bassin houiller du Nord* (Ibid., 9e sér., XIV, 1898, p. 5-85, pl. I-III : cartes et coupes).

à expliquer les singularités de cette coupe. Un grand pli couché se serait produit tout d'abord, puis il y aurait eu affaissement de la partie

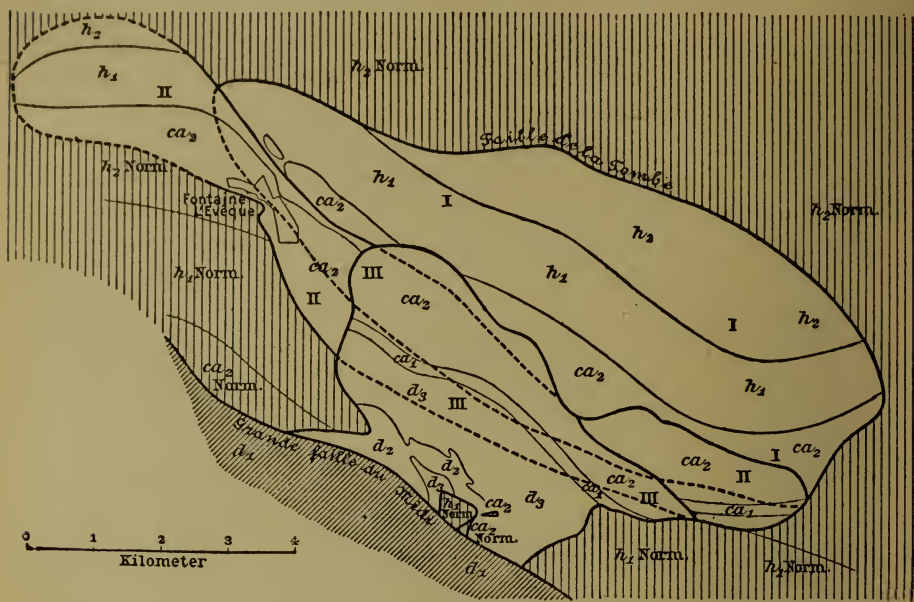


Fig. 332. — Lambeaux de recouvrement de Fontaine-l'Évêque (Hainaut), d'après Alph. Briart (*Annales Soc. Géol. de Belgique*, XXI, 1893, pl. 1).

d_1. Dévonien inférieur; d_2. Dévonien moyen; d_3. Dévonien supérieur; ca_2. Calcaire carbonifère; h_1, h_2. Terrain houiller; h_1 *Norm.*, h_2 *Norm.* Terrain houiller situé sous les lambeaux de recouvrement. Les lignes ponctuées ont été ajoutées, à titre hypothétique, à la figure de Briart. Échelle de 1 : 120,000 environ.

Nord, et le glissement des terrains le long de la faille du Midi ne serait survenu que plus tard (I, p. 183, fig. 30). Une importance parti-

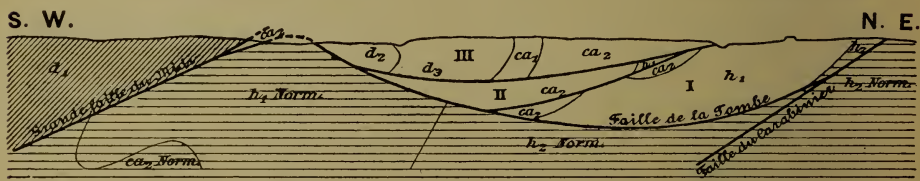


Fig. 333. — Coupe des lambeaux de recouvrement de Fontaine-l'Évêque (Hainaut), d'après Alph. Briart (*Annales Soc. Géol. de Belgique*, XXI, 1893, pl. 2).

Même légende que pour la figure 332. — Échelle de 1 : 60 000 environ.

culière était attribuée au renversement des couches, dans le paquet auquel Gosselet a donné le nom de lambeau de poussée. Gosselet lui-même avait admis que l'affaissement de la partie Nord était la cause de l'amplitude exceptionnelle du pli couché. Plus tard, dans un nouveau mémoire publié en 1894, Briart s'est rapproché des conceptions de M. Bertrand. Le lambeau de poussée de Fontaine-l'Évêque

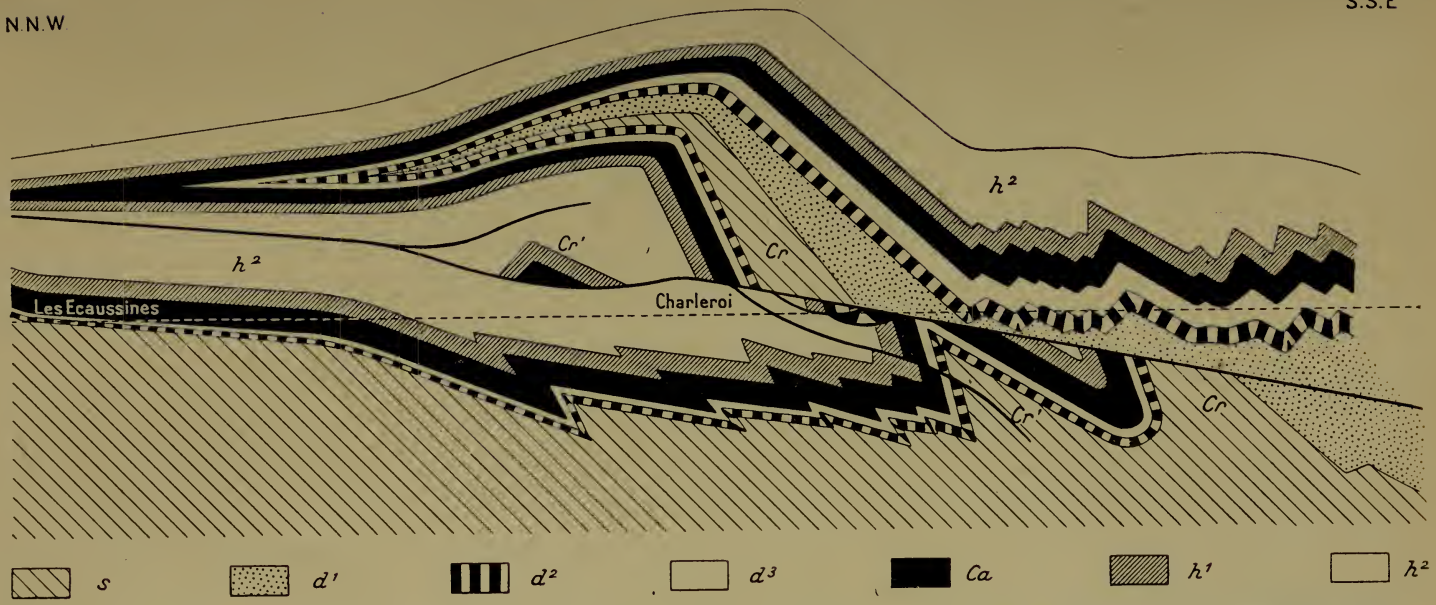


FIG. 334. — Coupe théorique passant par la région de Charleroi et représentant l'allure des couches après les grands chevauchements horizontaux, d'après M. l'abbé de Dorlodot (*Annales de la Société Scientifique de Bruxelles*, 1898, pl. II).

s. Cambrien et Silurien; d^1. Dévonien inférieur (Rhénan); d^2. Dévonien moyen (Eifélien et Frasnien); d^3. Dévonien supérieur (Fammennien); *Ca*. Calcaire carbonifère; h^1. Terrain houiller inférieur; h^2. Terrain houiller proprement dit. — Les traits forts représentent les lignes de contact anormal. — *Cr*. Anticlinal constituant la partie occidentale de la crête du Condroz; *Cr'*. Prolongement de l'anticlinal précédent à l'Est de Sart-Eustache. — Échelle de 1 : 250 000.

(fig. 332, 333), qui mesure 11 kilomètres de long sur 3 de large, y est considéré comme résultant de la présence de plusieurs lambeaux de recouvrement superposés[1].

Dans cette coupe de Fontaine-l'Évêque, on constate déjà bien plus nettement que la faille de la Tombe, qui précède immédiatement la grande surface de charriage ascendante (faille du Midi), est disposée en cuvette. Le remplissage de celle-ci, d'après l'exposé donné par Briart, est formé de trois fragments affectant l'allure d'un coin (I, II, III). Si l'on assimile leur ensemble à une unité tectonique, on remarquera que la série des couches y est renversée, de d_2 à h_2. C'est ce même renversement qui, dès 1877, attirait l'attention de Cornet et Briart et les conduisait à l'hypothèse d'un affaissement.

A la suite de nouvelles études, parmi lesquelles il y a lieu de mentionner celles de M. de Dorlodot (fig. 334)[2], Brien est finalement arrivé à l'idée que les paquets I + II + III, entourés par la faille de la Tombe, représentent bien réellement une unité et qu'ils correspondent dans leur ensemble à un pli renversé[3].

Nous sommes ainsi conduits à la conception du Ben More, telle que l'ont formulée les géologues écossais, c'est-à-dire au pli de torsion (*Drehfalte*). La poussée s'est arrêtée au plan de charriage. Les couches supérieures h_2 et h_1 de la nappe puissante ont continué à s'avancer, et ont été plissées par-dessus le bord septentrional de la nappe. Le terrain houiller h de la cuvette ne fait pas partie de la série normale sous-jacente, désignée par le symbole h_1 : il a été amené de loin, du Sud, *par-dessus* la faille du Midi.

Les travaux synthétiques de Fourmarier ont donné, à l'Est, entre Liège et Verviers, les résultats assez inattendus que voici (fig. 335)[4] :

En partant du Sud-Est, on trouve d'abord les synclinaux de l'Eifel, puis le large anticlinal de l'Ardenne, dans la partie Nord duquel surgit

1. Alph. Briart, *Géologie des Environs de Fontaine-l'Évêque et de Landelies* (Annales Soc. Géol. de Belgique, Liège, XXI, 1893-1894, Mém., p. 35-103, pl. I, II : carte et coupe).

[2. Voir, notamment, son mémoire intitulé : *Études géogéniques. Première étude. Genèse de la Crête du Condroz et de la Grande Faille.* Extrait des Annales de la Société Scientifique de Bruxelles, 1898. In-8°, 89 p., 6 pl. dont 1 carte géol., Bruxelles, 1898.]

3. V. Brien, *Description et interprétation de la coupe de Calcaire carbonifère de la Sambre, à Landelies* (Annales Soc. Géol. de Belgique, XXXII, 1904-1905, Mém., p. 239-259, pl. X); M. Lohest (*Observations relatives au travail de M. V. Brien*, etc., ibid., p. 257-260) pense que le phénomène doit être une grande faille de plissement; dans cette hypothèse, la faille de la Tombe deviendrait le prolongement de la faille du Midi. Cela ne change rien au fait que le contenu de la cuvette est venu d'en haut.

4. P. Fourmarier, *La structure du massif de Theux et ses relations avec les régions voisines* (Annales Soc. Géol. de Belgique, XXXIII, 1905-1906, Mém., p. 109-138, pl. V-VII : cartes et coupes); et *La tectonique de l'Ardenne* (Ibid., XXXIV, 1906-1907, Mém., p. 15-124, pl. I-XII : cartes et coupes). [Voir aussi P. Fourmarier *Les résultats des recherches par sondages au sud du bassin houiller de Liège* (Ibid., XXXIX, 1912, Mém. p. 587-685, pl. XX, XXI, dont 1 carte géol.).]

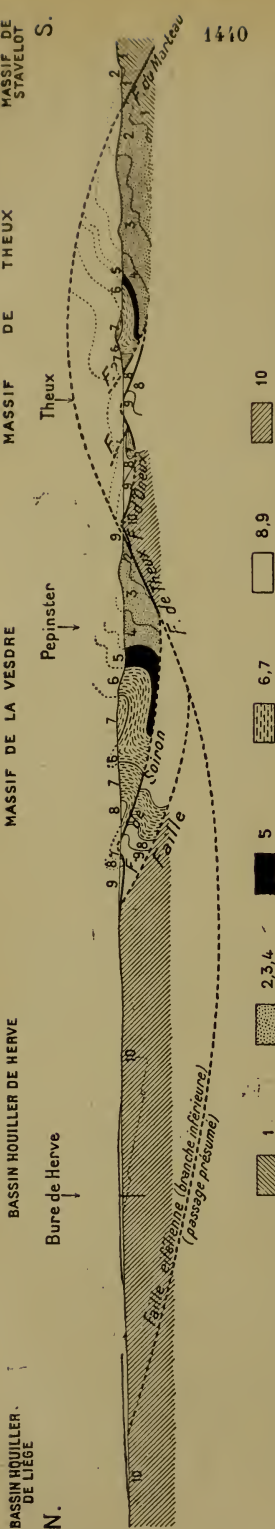


Fig. 335. — Coupe montrant les relations présumées du massif de Theux avec la région septentrionale, d'après P. Fourmarier (*Annales Soc. Géol. de Belgique*, XXXIII, 1906, pl. VII, fig. 3).

1. Cambrien; 2. Gédinnien; 3. Coblencien; 4. Couvinien et Burnotien; 5. Calcaires frasniens et Givétien; 6. Famennien inférieur et schistes frasniens; 7. Famennien supérieur; 8. Calcaire carbonifère inférieur; 9. Calcaire carbonifère supérieur; 10. Terrain houiller. — Échelle de 1 : 120 000.

le noyau montagneux anté-dévonien de Stavelot (Hohe Venn). A ce massif succèdent le synclinal de Dinant et son prolongement Nord-Est, le long de la Vesdre, puis le bassin houiller de Herve et le prolongement Nord-Est de celui de Namur. Tout cet ensemble participe au mouvement général de la chaîne Varisque, qui, dans cette région, est dirigé vers le Nord-Ouest. La faille du Midi est remplacée par une série d'accidents multiples de moindre importance.

Près de Theux, au Nord-Ouest de Spa, apparaît, s'enfonçant sous le Cambrien et le Dévonien inférieur du bord septentrional charrié du massif de Stavelot, le singulier *massif de Theux*. Les couches qui le constituent vont jusqu'au terrain houiller h_2. On a d'abord pensé qu'il résultait d'un affaissement; d'après Fourmarier, c'est une fenêtre, appartenant non pas au bassin adjacent de Dinant, mais bien au bassin de Namur, situé plus au Nord. Le bassin méridional (Dinant) a été transporté de 15 à 20 kilomètres au Nord de son emplacement primitif. Le bassin houiller de Herve en fait partie, et forme un lambeau de recouvrement superposé au bassin du Nord (Namur). Ce bassin du Nord (Namur) apparaît près de Theux comme une fenêtre s'ouvrant sous le bassin méridional (Dinant).

Essayons d'appliquer la terminologie adoptée dans cet ouvrage à l'interprétation de Fourmarier, en allant du Sud au Nord.

Les prolongements de la faille du Midi qui apparaissent le long du

massif de Stavelot représentent la surface de charriage ascendante. La voûte aujourd'hui rasée qui devait culminer sur l'emplacement actuel de la fenêtre de Theux rattachait jadis le bassin de Namur au bassin

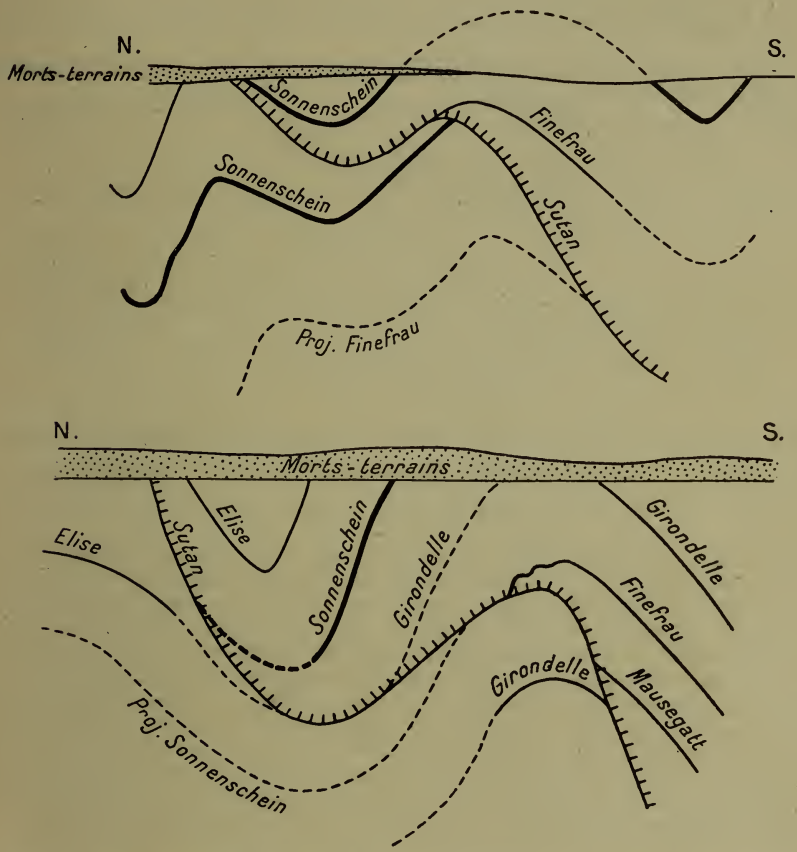


Fig. 336. — Deux coupes à travers la « Sutanüberschiebung » (bassin houiller de la Westphalie), d'après L. Cremer (*in* Dannenberg, *Geologie der Steinkohlenlager*, I. In-8°, Berlin [1909], p. 72, fig. 4).

Les principales veines de houille sont figurées par un trait plein ou brisé. Dans la faille Sutan, les crans représentent la lèvre charriée.

houiller de Herve. Ainsi prend naissance un nouveau motif tectonique, la « fenêtre anticlinale » (*Fenster am Joch*).

Passons maintenant aux mouvements plus profonds.

En 1894, L. Cremer montrait que le bassin houiller de Westphalie est recoupé par des surfaces de glissement obliques, dont l'inclinaison moyenne, d'ailleurs variable, est d'environ 15°, et où les couches subissent des rejets pouvant atteindre 700 m., et même probablement beaucoup plus de 1 000 m. dans un cas particulier. Ces surfaces de glis-

sement se suivent, dans le sens longitudinal, sur 28 kilomètres. Elles ont été *plissées avec les veines de houille* (fig. 336), et sont par suite antérieures au plissement, et non une conséquence secondaire de ce plissement[1].

La largeur du bassin houiller principal de la Belgique (h_2 *Norm.*

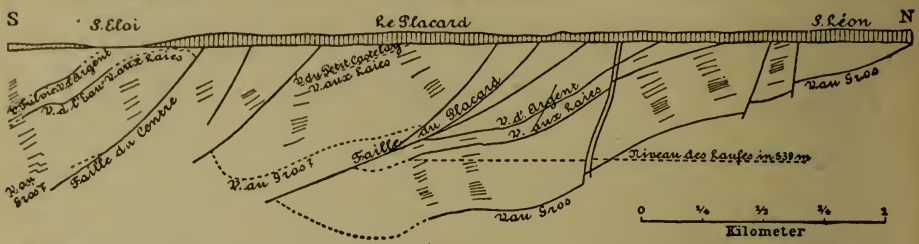


Fig. 337. — Coupe entre les fosses Saint-Éloi et Saint-Léon (Bassin houiller du Hainaut), d'après Alph. Briart (*Annales Soc. Géol. de Belgique*, XXIV, 1896-1897, pl. VI).

Un grand nombre de détails ont été supprimés pour rendre la figure plus claire. Échelle de 1 : 33 000 environ.

des fig. 332 et 333) varie aux affleurements, dans le Hainaut, de 8 à 15 kilomètres[2]. La figure 337 représente la coupe simplifiée d'un de ses tronçons. Des surfaces obliques, qui toutes plongent au Sud et sont

1. L. Cremer, *Ueberschiebungen des Westfälischen Steinkohlengebietes* (« Glückauf », Essen, n° 62-65, 1894, 14 p., 36 fig.). [Voir aussi le mémoire du même auteur, *Die Sutan-Überschiebung. Eine Studie aus den Lagerungs-Verhältnisse des Westfälischen Steinkohlengebirges* (Ibid., XXXIII, 1897, p. 373-379, 3 pl. coupes). — Sur la structure des bassins houillers de la Westphalie et de la Prusse Rhénane, voir le grand ouvrage : *Die Entwickelung des niederrheinisch-westfälischen Steinkohlen-Bergbaues in der zweiten Hälfte des XIX. Jahrhunderts.* Herausgegeben vom Verein für die bergbaulichen Interessen im Oberbergamtsbezirk Dortmund in Gemeinschaft mit der westfälischen Berggewerkschaftskasse und dem rheinisch-westfälischen Kohlensyndikat. I. *Geologie, Markscheidewesen.* In-8°, VIII-315 p., 33 fig. dans le texte et 18 pl. (cartes géol. et coupes), Berlin, 1903, notamment les chapitres 8 et 9 (p. 118-156), par le Dr. Cremer et H. Mentzel; copieuse bibliographie, p. 269-291); voir aussi l'ouvrage d'orientation de Dannenberg, *Geologie der Steinkohlenlager*, 1. Teil. In-8°, Berlin [1909], p. 49-105, fig. 1-10.]

[2. Pour des indications détaillées sur la tectonique du bassin de Namur, voir l'exposé général de A. Renier, *Les gisements houillers de la Belgique* (Annales des Mines de Belgique, XVIII, 1913, p. 755-779, pl. I-IV : carte et coupes; à suivre), et le résumé du même auteur, *Les Ressources houillères de la Belgique* (dans l'ouvrage : *The Coal Resources of the World*, 3 vol. in-8° et 1 atlas in-folio, Toronto, 1913; t. III, p. 801-819, avec 1 carte et 1 pl. de coupes); consulter en outre la monographie de O. Ledouble, *La Carte des Mines du Bassin houiller de Liège*, 2e édition (Annales des Mines de Belgique, XI, 1906, Mém., p. 3-55, pl. I-VIII : carte à 1 : 40 000 et coupes); P. Habets, *Les Travaux récents de reconnaissance dans les bassins houillers de Belgique* (Ibid., XV, 1910, p. 1047-1068, pl. 1-4, dont 3 cartes géol. à 1 : 160 000); V. Watteyne, *Les Sondages et Travaux de Recherche dans la partie méridionale du Bassin houiller du Hainaut. Notice introductive* (Ibid., XVII, 1912, p. 445-452, 1 pl. : carte à 1 : 100 000); — (suite) *Quelques mots sur la situation actuelle* (Ibid., XVIII, 1913, p. 253-264, 1 pl. : carte à 1 : 100 000); X. Stainier, *Structure du bord Sud des Bassins de Charleroi et du Centre, d'après les récentes recherches* (Ibid., XVIII, 1913, p. 273-312 et 641-679, 6 pl. de coupes à 1 : 10 000); M. Delbrouck, *Deux coupes dans les Bassins du Centre et du Borniage* (Ibid., XVIII, 1913, p. 1013-1018, 2 pl. de coupes à 1 : 20 000). — Il résulte de l'ensemble de ces travaux de recherches que la structure du bord méridional de la grande bande houillère de la Belgique dépasse encore, comme complication, tout ce que l'étude de la surface et des premiers sondages avait permis de prévoir. La découverte à Saint-Symphorien, à peu

légèrement concaves vers le ciel, recoupent le terrain houiller. Au Sud, elles se montrent moins inclinées; au Nord, elles se redressent davantage, et leur plongement s'accuse d'autant plus que l'on considère des régions plus voisines du jour. Telle est la règle qui prévaut jusque dans le Pas-de-Calais. La faille du Placard se divise, et chacune de ses branches obéit à la même loi[1]. Smeysters a publié une nombreuse série de ces coupes[2]. Le chevauchement de la lèvre Sud sur la lèvre Nord, le long de ces surfaces de discontinuité, n'y souffre pour ainsi dire pas d'exception. Dans la concession de Boubier, par exemple, près de Charleroi, un anticlinal renversé vers le Nord est recoupé obliquement par la faille du Carabinier, dont le plan se relève sous un angle inférieur à 10° vers le Nord, et dont le toit est remonté d'au moins 1 000 mètres par rapport au mur. Pour la faille d'Ormont, le relèvement dépasse 2 000 mètres[3]. Le plissement est donc, en Westphalie, postérieur à la production de ces surfaces, tandis qu'il leur est antérieur en Belgique.

Le grand bassin houiller de la Belgique est sans doute, dans son ensemble, un synclinal renversé vers le Nord, car il est limité au Nord comme au Sud par des affleurements de Calcaire Carbonifère et la série des couches commence de part et d'autre par les veines les plus basses. Mais, vers le Sud, il s'enfonce sous la faille du Midi; et, si l'on se représente ces surfaces de glissement concaves prolongées dans la même direction, tout le bassin se résout en une série de coins concaves, qui se recouvrent obliquement et sont poussés d'une manière plus ou moins indépendante, les uns par rapport aux autres, de bas en haut et du Sud au Nord. Ce mouvement des coins traduit leur tendance à échapper à la pression formidable s'exerçant à partir de la faille du Midi. Cette pression se manifeste encore aujourd'hui sous la forme de tremblements de terre[4]. Les séismes du 23 février 1828, de novembre 1881

près à égale distance entre Boussu et Fontaine-L'Evêque, d'un nouveau lambeau de terrains charriés, montre la généralité du phénomène; d'un autre côté, à mesure que l'on s'avance vers le Sud, la plupart des accidents paraissent prendre une allure de plus en plus voisine de l'horizontale; et rien n'indique une fermeture immédiate de la cuvette houillère, en profondeur, dans cette direction.]

1. Alph. Briart, *Les couches du Placard (Mariemont); suite à l'étude sur la structure du bassin houiller du Hainaut dans le district du Centre* (Annales Soc. Géol. de Belgique, XXIV, 1896-1897, Mém., p. 237-255, pl. VI-VII). Voir E. Harzé et A. Habets, Observations, etc. (Ibid., XXVI, 1898-1899, Mém., p. 129).

2. J. Smeysters, *Étude sur la constitution de la partie orientale du bassin houiller du Hainaut*, (Annales des Mines de Belgique, V, 1900, p. 29-112, 207-245, 332-396, 29 coupes, 2 pl. cartes à 1 : 40 000).

3. J. Smeysters, Ibid., p. 336, fig. 24.

[4. Sur les secousses séismiques qui affectent, de temps à autre, le bassin houiller franco-belge, consulter : J. Cornet, *A propos du récent tremblement de terre de la Belgique et du Nord de la France* (Bull. Soc. Belge de Géol. Bruxelles, X, 1896, Procès-verb., p. 123-131); A. Lancaster, *Le tremblement de terre du 2 septembre 1896* (Ibid., p. 132-140); F. de Montessus de Ballore, *Les Tremblements de terre. Géographie séismologique.* In-8°, Paris, 1906, p. 67-77;

et du 2 septembre 1896 sont partis de la faille du Midi, et Smeysters les désigne, en conséquence, sous le nom de « séismes de chevauchement »; c'est une répétition du tremblement de terre de Kangra, le long des surfaces de chevauchement des Monts Siwalik[1].

Les surfaces de glissement telles que les failles du Carabinier, du Placard et les autres accidents visibles sur la figure 337 ne sont donc pas de vraies failles, et ne résultent pas non plus du plissement : ce sont des surfaces de glissement d'un genre particulier, que nous désignerons sous le nom de *surfaces listriques* (λίστρον, pelle)[2].

c) *Les Alpes.* — La coupe du Simplon (III, 2e partie, p. 727, fig. 150) montre des lignes courbes d'une grande amplitude, convexes vers le ciel, et représentées par des traits ponctués. Il en va de même pour la coupe du plissement de Glaris (fig. 339)[3] et pour toutes les coupes d'ensemble des Alpes Suisses qui, dans le courant de ces dernières années, ont été dessinées à l'appui des vues de Schardt et de Lugeon sur les nappes alpines[4]. Cela veut dire qu'il existe des surfaces de

H. Douxami, *Les Tremblements de terre. Essai sur l'état actuel de la Séismologie* (Mém. Soc. des Sc., Arts et Agriculture de Lille, 1911. In-8°, 221 p., 30 fig.; renferme, p. 166-204, une liste des tremblements de terre ressentis dans le Nord de la France); P. Lemoine, *Les Tremblements de terre du Bassin de Paris, leurs relations avec les accidents tectoniques* (Bull. Soc. Géol. de France, 4e sér., XI, 1911, p. 341-412, 55 fig. cartes; bibliographie; voir notamment p. 365-373, fig. 2-13).]

[1. Voir C. S. Middlemiss, *The Kangra Earthquake of 4th April 1905* (Mem. Geol. Survey of India, XXXVIII, 1910, x-409-xxi p., 31 pl., dont 3 cartes). — Sur les tremblements de terre de l'Inde Anglaise, en général, voir l'étude statistique de F. de Montessus de Ballore, intitulée : *The Seismic Phenomena in British India, and their connection with its Geology* (Ibid., XXXV, pt. 3, 1904, 41 p., 2 pl. cartes), et les ouvrages du même auteur : *Les Tremblements de terre. Géographie séismologique.* In-8°, Paris, 1906 (chap. XII : Himalaya et dépendances, p. 192-208); *La Science séismologique. Les Tremblements de terre.* In-8°, Paris, 1907, p. 555.]

[2. Sur la genèse des surfaces listriques, voir Lechmann, *Überschiebungen und listrische Flächen im westfälischen Karbon* (« Glückauf », Essen, XLV, 1910, p. 203-207); W. H. Hobbs, *Mechanics of Formation of Arcuate Mountains* (Journ. of Geol., XXII, 1914, p. 201-205, fig. 37 *a-g*); B. G. Escher, *Tectonische vergelijking van den Alpinen bouw in't algemeen met de listrische vlakken in België* (Geol.-Mijnbouwk. Gen. voor Nederl., Geol. Sect., Versl. I, 1914, p. 142-145).]

3. Alb. Heim, *Der Bau der Schweizer-Alpen* (Neujahrsblatt herausgegeben von der Naturforschenden Gesellschaft in Zürich, n° 110, 1908. In-4°, 26 p. 9 fig., 2 pl. [Dernières publications sur les plis couchés des Alpes Glaronnaises : K. Tolwinski, *Die Grauen Hörner* (Vierteljahrsschr. Naturforsch. Gesellsch. Zürich, LV, 1910, p. 331-390, 15 fig., pl. I, II : phot. et coupe); Alb. Heim, *Beobachtungen aus der Wurzelregion der Glarnerfalten* (Beitr. zur Geol. Karte der Schweiz, Neue Folge, Liefg. XXXI (4), p. 49-56, 4 fig., 1911); W. Staub, *Geologische Beschreibung der Gebirge zwischen Schächental und Maderanertal im Kanton Uri* (Ibid., XXXII, viii-84 p., 14 fig., 1 carte géol. à 1 : 50 000 et 3 pl., 1911); M. Blumenthal, *Geologie del Ringel-Segnesgruppe* (Ibid., XXXIII, iv-71 p., 12 fig., 5 pl. 1911), et *Der Calanda* (Ibid., XXXIX, iv-48 p., 12 fig., 5 pl., 1912).]

[4. Pour un exposé d'ensemble de l'agencement des nappes alpines, en particulier dans les Alpes Occidentales, voir le magistral ouvrage de Jean Boussac, *Études stratigraphiques sur le Nummulitique alpin* (Mém. pour servir à l'Explic. de la Carte géol. détaillée de la France). In-4°, xxx-662 p., 184 fig., 10 pl. en héliogr., 10 cartes en couleurs, Paris, 1912; en particulier chap. I : « Les grandes unités tectoniques de la Chaîne des Alpes » (p. 1-60 et fig. 1-34). Voir aussi la brillante analyse de ce mémoire, par M. Lugeon : *Société Géologique de France. Rapport sur l'attribution du Prix Fontannes pour 1913.* In-8°, 16 p., Paris.]

FIG. 338. — Coupe composite montrant le déroulement des Nappes Helvétiques entre Engelberg et Meiringen, d'après P. Arbenz (*Eclogæ Geol. Helvetiæ*, XII, 1913, pl. 22).

Abréviations : A. Arnialp ; G. Glockhaus ; H. Hochstollen ; H*g*. Hanghorn ; H*u*. Hutstock ; J. Jochpass ; J*u*. Juchlipass ; R. Rothhorn ; S. Scheideggstock ; S*a*. Salistock ; S*t*. Stückli ; T. Trübsee ; W. Widderfeld. — x = Limite entre la nappe du Drusberg (nappe supérieure) et la nappe Urirotstock-Axen (nappe inférieure) ; I, II, III, IV = plis couchés successifs (digitations) dans la nappe inférieure ; 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 = D° dans la nappe supérieure. — Échelle de 1 : 75 000.

charriage ascendantes et plongeantes (fig. 338), et que de larges ondulations, dépassant de beaucoup la hauteur des Alpes actuelles, ont été détruites : toutes les Chaînes Helvétiques [1], du Léman jusqu'au Rhætikon, sont entourées par les restes des carapaces lépontiennes [2]. Cette partie des Alpes Suisses devient ainsi comme une fenêtre dans l'encadrement lépontien (III, 2e partie, p. 779) ou, si l'on veut, comme une grande fenêtre anticlinale.

La Dent Blanche est un fragment superposé à une surface de charriage ascendante; elle vient probablement de la bordure dinarique et, là, des terrains lépontiens sont donc superposés à d'autres terrains lépontiens [3]. Les lambeaux de recou-

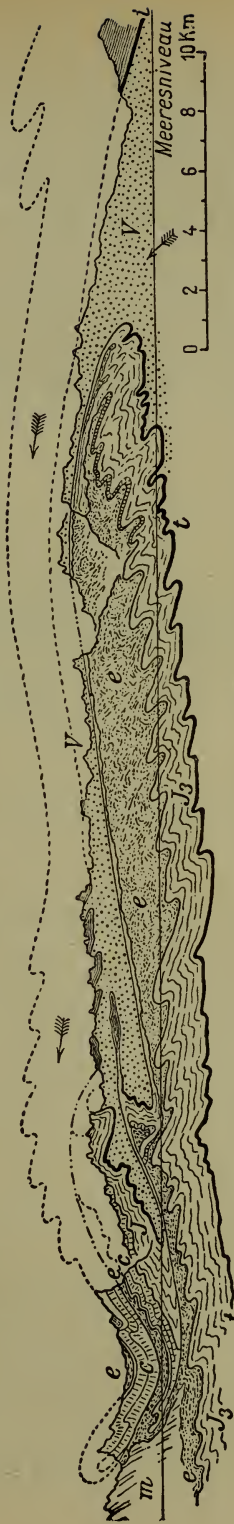


FIG. 339. — Les nappes de plissement glaronnaises, d'après Alb. Heim (*Neujahrsblatt herausgegeben von der Naturforschenden Gesellschaft in Zürich*. 110. Stück, 1908, p. 13, fig. 4 B).

V. Verrucano; *t*. Trias helvétique (dolomie de Röthi); *j*. Terrain jurassique; *c*. Terrain crétacé; *e*. Flysch (Tertiaire inférieur); *m*. Poudingues tertiaires. — Échelle de 1 : 250 000 environ (longueurs et hauteurs).

[1. Sur la structure des Chaînes Helvétiques dans la Suisse Centrale, voir les beaux travaux de P. Arbenz, notamment : *Geologische Karte des Gebirges zwischen Engelberg und Meiringen*, 1905-1909, 1 : 50 000 (Beitr. zur Geol. Karte der Schweiz, Neue Folge, Liefg. XXVI, Spezialkarte Nr. 55, 1911); *Der Gebirgsbau der Zentralschweiz* (Verhandl. Schweiz. Naturf. Gesellsch., 95. Jahresversamml., Altdorf, 1912, II, p. 95-122, pl. I, II); trad. sous le titre de : *La structure des Alpes de la Suisse Centrale* (Archives des Sc. Phys. et Nat., Genève, 4e période, XXXIV. 1912, p. 401-425, pl. V, VI); *Die Faltenbogen der Zentral-und Ostschweiz* (Vierteljahrsschr. Naturforsch. Gesellsch. Zürich, LVIII, 1913, p. 15-34, pl. I, II : cartes tectoniques); et surtout l'admirable synthèse graphique : *Geologischer Stereogramm (Parallelprojektion) des Gebirges zwischen Engelberg und Meiringen* (Beitr. zur Geol. Karte der Schweiz, Spezialkarte Nr. 55bis, 1913).]

[2. Voir les deux planches : *Simmenthal et Diemtigthal. Carte géologique levée par* J. Rabowski, 1906-1911, 1 : 50 000, avec 1 feuille annexe de *Coupes en séries* (Matériaux pour la Carte géol. de la Suisse, nouv. sér., Livr. XXXV, carte spéciale n° 69, pl. I, II, 1912).]

[3. Sur les relations du massif de la Dent Blanche avec les autres unités tectoniques de la Chaîne Alpine voir la magnifique synthèse d'Émile Argand : *Les nappes de recouvrement des Alpes Occidentales et les territoires environnants. Essai de carte structurale, 1902-1911*, 1 : 500 000 (Matériaux pour la Carte géol. de la Suisse, nouv. sér., Livr. XXVII, pl. I, carte spéciale n° 64; accompagnée de 3 pl. de coupes à 1 : 400 000 : pl. II. Neuf coupes à travers les Alpes Occidentales; pl. III. Coupes géologiques [longitudinales] dans les Alpes Occidentales; pl. IV. Les grands plis couchés des Alpes Pennines). Ce travail, dont le texte explicatif n'a pas encore

vrement lépontiens, au voisinage de la bordure septentrionale du Flysch, sont parvenus dans leur emplacement actuel à la faveur d'une surface de charriage plongeante, en passant par-dessus des régions où plus tard le plissement a donné naissance aux Hautes Chaînes (Wildstrubel, etc.).

Mais, justement, dans ces exemples, la surface de charriage apparaît moins comme un plan de dislocation bien net que comme la somme des plans de dislocation répondant aux flancs médians, étirés à l'excès, des plis entraînés par une poussée irrésistible. Cet étirement doit s'être produit d'une manière assez lente quand il y a eu transformation des bancs calcaires en marbre, car on ne conçoit guère des phénomènes de

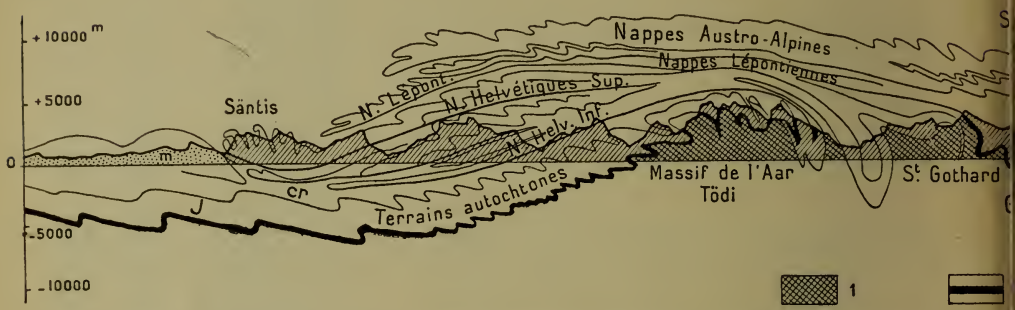


Fig. 340. — Coupe schématique à travers les nappes des Alpes Suisses, suivant la ligne Säntis-Ch
110. Stück,
1. Roches cristallines; 2. Trias; 3. Terrains jurassiques, crét

dissolution et de cristallisation comme accompagnant une catastrophe [1].

En raison de ces circonstances, les conclusions tirées du charriage lointain des lambeaux de recouvrement doivent être fortement modifiées, Il semble incontestable que, dans la partie qui plonge vers le Nord, ne fût-ce que dans une mesure restreinte, il y a eu glissement continu : l'ancienne hypothèse de Reyer se trouve donc, ici, justifiée [2].

Les plis incurvés du Mont Joly (III, 2e partie, p. 715, fig. 145)

paru, étend, complète et rectifie la note préliminaire donnée par l'auteur, dans le même recueil, en 1911 : Em. Argand, *Les nappes de recouvrement des Alpes Pennines et leurs prolongements structuraux* (Mat., etc., nouv. sér., Livr. XXXI. In-4°, 26 p., 1 carte tectonique, 2 stéréogrammes).]

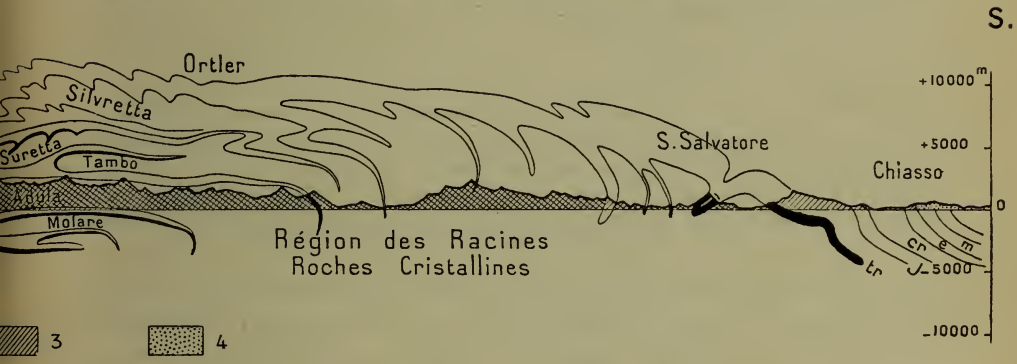
1. Arn. Heim déclare, en parlant du calcaire crétacé supérieur du Säntis, que pour un étirement au double les coquilles d'aragonite des Foraminifères ont seules été transformées en calcite. Pour un étirement au quintuple, la moitié de la masse entière est devenue de la calcite, avec structure rubanée. Il est impossible de déterminer par ce moyen si l'étirement a pu être réellement poussé jusqu'au vingtuple, car la transformation en calcite est déjà complète bien avant d'arriver à cette valeur; Arn. Heim, *in* Alb. Heim, *Das Säntis-Gebirge* (Beitr. zur Geol. Karte der Schweiz, Neue Folge, XVI, 1905), p. 472.

2. E. Reyer, *Theoretische Geologie*. In-8°, Stuttgart, 1888, p. 475 et suiv.; du même, *Ueber Deformationen und die Gebirgsbildung*. In-8°, Leipzig, 1892, p. 16 et suiv.

montrent comment une striction plutôt énergique s'exerçant dans le sens vertical peut donner naissance à des anticlinaux et à des synclinaux rabattus horizontalement. On pourrait croire qu'une masse de terrain beaucoup plus épaisse a passé par-dessus, en entraînant ces plis à sa suite. Toutefois, les digitations des nappes plongeantes ou des plis tordus sont plus difficiles à interpréter.

La description de la Hornfluh donnée par Fr. Jaccard[1] peut servir d'exemple.

Nous sommes ici entre le Lac de Thoune et le Léman, au Sud-Ouest de Saanen. Le Flysch et le terrain crétacé supérieur forment le



Alb. Heim (*Neujahrsblatt herausgegeben von der Naturforschenden Gesellschaft in Zürich*, , fig. 11).
; 4. Mollasse. — Échelle (longueurs et hauteurs) 1 : 600 000.

substratum. La série exotique de recouvrement ne se présente pas dans cette région à l'état de lambeaux véritables, mais constitue deux massifs lenticulaires principaux dont le grand axe mesure 8,5 et 7 kilomètres, la Gummfluh (2 461 m.) et le Rubli (2 288 m.), qui appartiennent l'un et l'autre à la série de la « Nappe de la Brèche » de Lugeon (III, 2e partie, p. 777). Ces massifs se subdivisent dans le sens longitudinal en 3, 4 ou 5 bandes, plus ou moins séparées par du Flysch, *qui répondent à autant de plis tordus débordant les uns sur les autres* (fig. 342). Ces plis tordus, ou digitations de nappes plongeantes, sont enfoncés dans le Flysch, du Sud-Est au Nord-Ouest[2].

1. F. Jaccard, *La région de la brèche de la Hornfluh, Préalpes Bernoises* (Bull. Laboratoire de Géol. Univ. Lausanne, n° 5, 1904, 205 p., 31 fig., 5 pl. dont 1 carte géol.), et *La région Rubli-Gummfluh, Préalpes Médianes* (Bull. Soc. Vaudoise Sc. Nat., XLIII, 1907, p. 407-548, 9 fig., pl. XXXIII-XXXIX, dont 1 carte); voir aussi R. de Girard et H. Schardt, *Programme de l'Excursion dans les Alpes de la Gruyère et du Pays d'En-Haut Vaudois* (Eclogæ Geol. Helv., X, 1908, p. 165-195, 7 fig. et pl. 7, 8 : coupes), et ailleurs.

2. « Têtes de pli-faille, plantées dans le Flysch » (F. Jaccard, *La région Rubli-Gummfluh*, p. 456, et ailleurs). Lugeon donne un bel exemple observé sur la Drance, au Sud du Lac Léman, près de Saint-Jean-d'Aulph (*Les grandes Nappes de recouvrement du Chablais et de la Suisse*; Bull. Soc. Géol. de France, 4e sér. I, 1902, pl. XIV, fig. 2 [reprod. ci-contre, fig. 341]).

Le pli de torsion complet commence, du côté Sud, avec le Trias inférieur, auquel succède toute la série des couches jusqu'au Malm, qui

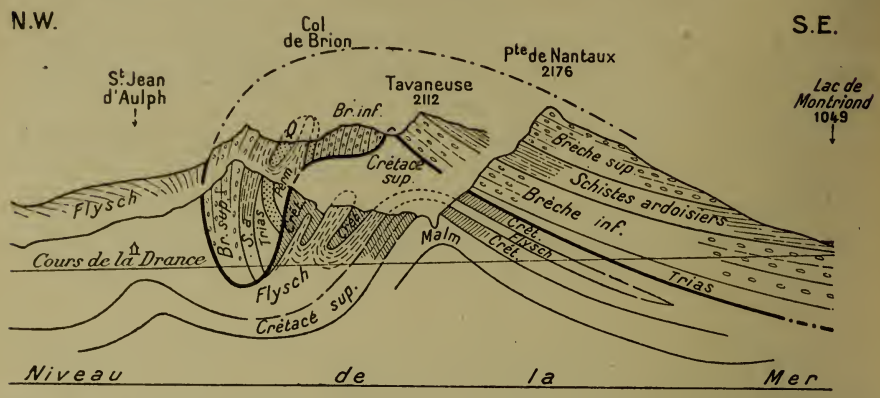


Fig. 341. — Tête de pli-faille plantée dans le Flysch à Saint-Jean-d'Aulph (Chablais), d'après M. Lugeon (*Bull. Soc. Géol. de France*, 4e sér., I, 1901, pl. XIV, fig. 2).

Perm. Permien; *Q.* Quartzites du Trias; *Br. inf.* Brèche inférieure; *S. a.* Schistes ardoiseries; *Br. sup.* Brèche supérieure; *Malm*, Jurassique supérieur; *Crét.* Crétacé; *Flysch*, Éocène. — Le trait fort représente une surface de charriage. — Échelle de 1 : 60 000.

forme de grands escarpements. La suite des assises enveloppe en courbes concentriques ce noyau triasique ancien. C'est la structure du Ben More et de Fontaine-l'Évêque, mais ici, comme on l'a dit, le phénomène se

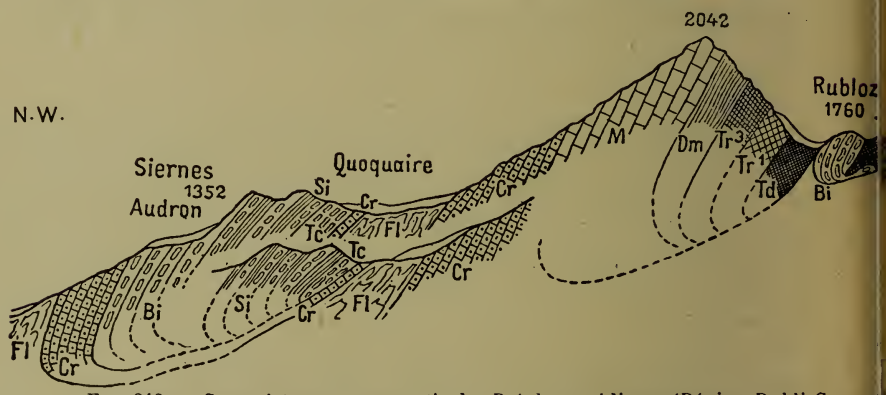


Fig. 342. — Coupe à travers une partie des Préalpes médianes (Région Rubli-Gummi

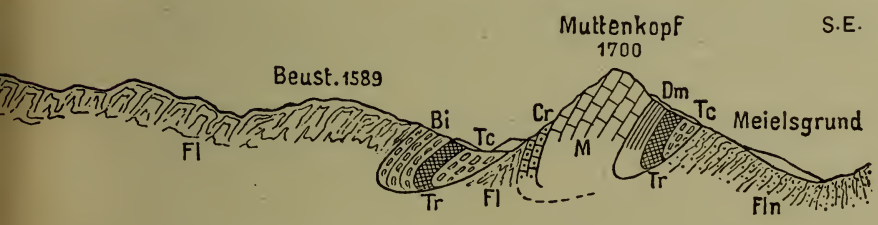
T. Trias (Tc. Cargneules; Td. Calcaires); Si. Schistes et Calcaires inférieurs; Bi, Brèche inférieure; Dm. D

répète à cinq reprises différentes. Chaque fois, la série entière des terrains a dû se replier vers le bas, puis, la nappe continuant à avancer, un nouveau pli de torsion s'en est détaché, la partie supérieure étant toujours animée d'un mouvement plus rapide. Ce phénomène n'est concevable qu'avec la constitution particulière du Flysch. On peut admettre que ce terrain n'était pas capable de supporter par lui-même la nappe, qui, en s'avançant, trouvait toujours un point d'appui solide

sur le paquet tordu déjà enfoncé dans la masse sous-jacente. C'est pour cela que les fragments successifs demeurent si étroitement accolés les uns en arrière des autres et que, par exception, l'un d'entre eux s'enfonce presque dans celui qui le précède.

En outre, il affleure des lambeaux de Crétacé qui, d'après Jaccard, n'appartiennent pas à la même série que les plis de torsion, mais qui les enveloppent plus ou moins et sont enfoncés avec eux dans le Flysch.

A l'Est, au Nord du Lac de Walenstadt, un conglomérat très épais, la Nagelfluh de la Mollasse, s'oppose au bord avancé des Alpes. Il se montre incliné vers le Sud. On connaît le mode de contact grâce aux travaux d'Arnold Heim et d'E. Blumer[1]. La Nagelfluh, rigide, est interrompue, dans la zone de contact, par des dépressions, représentant peut-être des sillons d'érosion. Le Flysch vient s'enfoncer dans ces vides comme une masse plastique, et la nappe puissante des calcaires crétacés, en se rapprochant, se relève, se plisse de bas en haut par-dessus le Flysch, devient verticale et finit par se renverser vers l'intérieur. Ce cas répond à celui qu'Arnold Heim a désigné sous le nom d'*Überwurfsklippe*. C'est le contraire du pli de torsion : au Mattstock, le mouvement est dirigé de bas en haut, et le terme le plus ancien de la série des couches se trouve à l'extrémité (synclinal, fig. 343); dans l'autre exemple, le mouvement a lieu de haut en bas, et le terme le plus récent,



ès Fr. Jaccard (*Bull. Soc. Vaudoise Sc. Nat.*, XLIII, 1907, pl. XXXVII).
tilus; M. Malm; Cr. Terrain crétacé; Fln. Flysch du Niesen; Fl. Flysch. — Échelle de 1 : 25 000 environ.

devançant le reste de la masse, occupe le bord externe (fig. 342, anticlinal).

1. Arn. Heim, *Die Brandung der Alpen am Nagelfluhgebirge* (Vierteljahrschr. Naturforsch. Gesellsch. Zürich, LI, 1906, p. 441-461, pl. VII, VIII : carte et coupes). [et *Die Erscheinungen der Längszerreissung und Abquetschung am Nordschweizerischen Alpenrand* (Ibid., p. 462-472)]; E. Blumer, *Zur Kenntnis des helvetischen Alpen-Nordrandes* (Ibid., p. 473-480, 2 fig.). [Voir aussi la *Monographie der Churfirsten-Mattstock Gruppe* d'Arnold Heim, en cours de publication depuis 1910 (Beitr. zur Geol. Karte der Schweiz, Neue Folge, XX. Liefg., Text : 1.-2. Teil, Atlas, 1. Teil. 3 fasc. in-4°, Bern, 1910-1913).]

Ce mode de terminaison des nappes a précisément dirigé l'attention, dans ces derniers temps, sur la diminution de la circonférence terrestre qu'il présuppose. Dans chaque nappe, dont l'extrémité peut se trouver à 80 kilomètres ou davantage de la racine[1], il y a lieu de tenir compte de deux circonstances : d'abord, le glissement supposé sur la surface plongeante, qui, à proprement parler, n'est qu'un phénomène secondaire et peut avoir influé sur la longueur du chemin parcouru; en second lieu, l'étirement des roches qui, il est vrai, n'a pas d'importance pour l'évaluation de ce parcours, mais qui peut diminuer le raccourcissement nécessaire de la circonférence terrestre d'un cinquième, un dixième ou une fraction moindre de la distance totale. Dans les Alpes Suisses, c'est bien plutôt le nombre des nappes superposées qui montre l'importance du phénomène; mais celle-ci échappe à toute évaluation numérique.

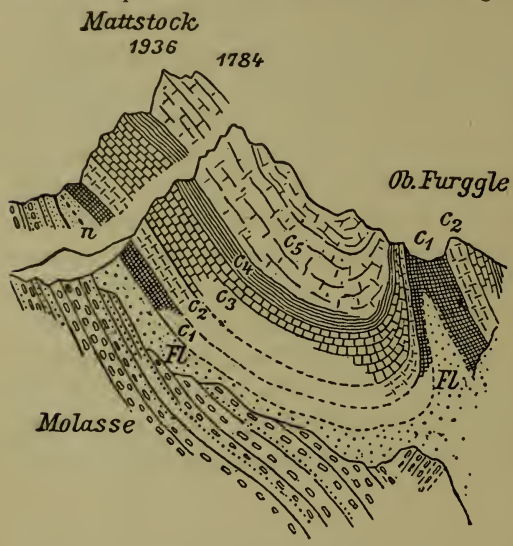


Fig. 343. — Le Mattstock, entre la Thur et le Lac de Walenstadt (Canton de St-Gall), d'après Arn. Heim (*Vierteljahrsschr. Naturforsch. Gesellsch. in Zürich*, LI, 1906, pl. VIII, fig. 3).

c_1 et c_2. Valanginien; c_3. Calcaires à silex; c_4. Couches du Drusberg; c_5. « Schrattenkalk »; *Fl.* Flysch; *n*. Couches à Nummulites. — Échelle de 1 : 20 000.

Mais déjà, dans cette enveloppe superficielle des Alpes, l'influence d'une surcharge est impossible à méconnaître. Plus celle-ci augmente, et plus les contrastes résultant de la constitution des roches semblent s'atténuer, en même temps que la notion d'un écoulement général passe au premier plan. C'est pourquoi Sollas, en remplaçant dans ses expériences les couches alternativement rigides et flexibles par un « glacier de poix », s'est rapproché davantage de la Nature : il a pu obtenir ainsi de vrais *recumbent folds*, c'est-à-dire des plis de torsion[2].

[1. O. Wilckens, *Wo liegen in den Alpen die Wurzeln der Ueberschiebungsdecken?* (Geol. Rundschau, II, 1911, p. 314-330; renferme une bibliographie de 44 art.), et *Der Deckenbau der Alpen*. In-8°, 62 p., 40 fig. Berlin-Wien, 1914 (Fortschritte der Naturw. Forschung, herausg. von E. Abderhalden, Bd. X, Heft 1).]

2. W. J. Sollas, *Recumbent Folds produced as a Result of Flow* (Quart. Journ. Geol. Soc., LXII, 1906, p. 716-721). On peut rappeler ici la belle reproduction donnée par Bailey Willis, *The Mechanics of Appalachian Structure* (13th Ann. Rept. U. S. Geol. Survey, 1891-92, part II, pl. XCVI, fig. b [reprod. ci-contre, fig. 344]). [Voir aussi les récentes études de Max. Lohest,

Malgré tout, l'on conserve l'impression que la grande avancée des nappes lépontiennes sur les Alpes Helvétiques n'a été qu'un épisode, et que la surrection ultérieure des Hautes Chaînes représente un phénomène tout à fait indépendant. Cet événement postérieur a modifié l'allure des charriages lépontiens, et les grands plans de poussée situés à une profondeur plus grande sont plus faciles à suivre du côté de l'Est.

Dans les *Alpes Orientales*[1], en dépit des nombreuses questions pendantes, l'avancée des Dinarides dans la direction du Nord sur la

Fig. 344. — Charriages en miniature, d'après une expérience de Bailey Willis (*U. S. Geol. Survey, 13th Ann. Rept.*, 1891'92, pt. II, pl. XCVI, fig. b).

Couches successives de composition uniforme, obtenues en mélangeant 1 partie de cire et 1 partie de plâtre fin avec 3 parties de térébenthine. Effets d'une compression latérale énergique s'exerçant de gauche à droite, sous une forte surcharge de plomb de chasse. — Réduction au quart.

nappe austro-alpine, de celle-ci sur la nappe lépontienne, et de cette dernière sur la nappe helvétique, apparaît nettement. Jusqu'à présent,

Expériences de Tectonique (Annales Soc. Géol. de Belgique, XXXIX, Mém., 1913, p. 547-583, fig. 1-42; en particulier p. 568 et suiv.), et de W. Paulcke, *Das Experiment in der Geologie*. Festschrift... herausgegeben von der Technischen Hochschule Karlsruhe). In-8°, x-108 p., 42 fig., 19 pl., Berlin, 1913.]

[1. Voir III, 3e partie, p. 771-847. Consulter en outre l'exposé de F. Heritsch, *Die Österreichischen und Deutschen Alpen bis zur Alpino-Dinarischen Grenze* (*Ostalpen*). In-8°, 153 p., 26 fig,, 2 pl. coupes, Heidelberg, 1915 (*Handbuch der Regionalen Geologie*, 18. Heft; Bd. II, 5. Abt.), et les mémoires suivants : L. Kober, *Ueber Bau und Entstehung der Ostalpen* (Mitteil. Geol. Gesellsch. in Wien, V, 1912, p. 368-481, pl. VIII-XIV, dont 1 carte tectonique); *Der Deckenbau der östlichen Nordalpen* (Denkschr. k. Akad. Wiss. Wien, mathem.-naturwiss. Kl., LXXXVIII, 1913, p. 345-396, 7 fig., 2 cartes à 1 : 590 000 et 1 : 1 500 000, 1 pl. de coupes; renferme une liste bibliogr. de 68 nos); *Untersuchungen über den Aufbau der Voralpen am Rande des Wiener Beckens* (Mitteil. Geol. Gesellsch. in Wien, IV, 1911, p. 63-116, pl. II-V, dont 1 carte géol.); — F. Heritsch, *Das Alter des Deckenschubes in den Ostalpen* (Sitzungsber. k. Akad. Wiss. Wien, mathem.-naturw. Kl., CXXI, Abt. 1, 1912, p. 615-632); *Die Anwendung der Deckentheorie auf die Ostalpen, I* (Geol. Rundschau, V, 1914, p. 95-112, 1 tableau); *Die Bauformel der Ostalpen* (Neues Jahrb. f. Min., 1915, I, p. 47-67). — O. Ampferer und W. Hammer, *Geologischer Querschnitt durch die Ostalpen vom Allgäu zum Gardasee* (Jahrb. k. k. Geol. Reichsanst., LXI, 1911, p. 531-710, 50 fig., pl. 32-34 : légende, coupe à 1 : 75 000, carte tectonique); — Ém. Haug, *Les nappes de charriage des Alpes calcaires septentrionales, 3e partie, le Salzkammergut* (Bull. Soc. Géol. de France, 4e sér., XII, 1912, p. 105-142, 7 fig. dont 1 carte géol., pl. I : coupes).]

on n'y connaît nulle part de plis de torsion ou d'autres particularités du même genre. A prendre les choses en gros, cependant, la comparaison suivante est peut-être permise.

De même que, dans une partie de la Suisse, la présence du massif helvétique, préexistant quoique modifié par les plissements ultérieurs, a été la cause première de la formation de la voûte médiane que les nappes lépontiennes ont dû escalader, de même, dans l'Est, un massif lépontien d'une grande étendue, celui des Tauern[1], a joué ce rôle d'axe culminant et a été franchi par la nappe austro-alpine. La fenêtre à travers laquelle ce massif apparaît au jour doit son origine non seulement à l'érosion, mais peut-être aussi à une déchirure de la nappe. C'est une fenêtre anticlinale, comme le petit massif de Theux en Belgique et comme la partie des Alpes Helvétiques qu'enveloppe une auréole de traces lépontiennes.

L'anticlinal dans le noyau duquel les Tauern ont surgi, et qui a été regardé pendant si longtemps comme une preuve de la structure symétrique des Alpes, est recouvert du côté du Sud par la partie ascendante et du côté du Nord par la partie plongeante de la nappe austro-alpine. La possibilité n'est pas exclue que cette voûte, de la même façon que les Alpes Bernoises, ait été relevée par un plissement postérieur. La zone calcaire, avec son plafond concave, devient ainsi assimilable à un lambeau de recouvrement occupant une cuvette.

Quant aux surfaces de discontinuité sur lesquelles ces mouvements se sont produits, on ne peut guère dire, jusqu'à présent, que ceci : c'est que rien n'indique qu'elles dérivent d'un plissement préalable : il est probable que, comme les *major thrusts* des Calédonides et les surfaces listriques du bassin houiller franco-belge, elles s'élèvent en biais avec un pendage médiocre, et que, même, elles ont pris naissance sous une faible inclinaison. Une circonstance, tout au moins, semble parler

[1. Dernières publications sur la structure des Tauern et des régions voisines : Fr. Heritsch, *Fortschritte in der Kenntniss des geologischen Baues der Zentralalpen östlich vom Brenner*. I. *Die Hohen Tauern* (Geol. Rundschau, III, 1912, p. 172-194; bibliographie de 58 art.); II. *Das Ostalpine Gebirge im Norden und Süden der Tauern* (Ibid., p. 237-244); III. *Das Gebirge östlich von den Radstädter Tauern und vom Katschberg* (Ibid., p. 245-258, 1 carte dans le texte; bibliographie de 64 art.); IV. *Das Gebirge westlich vom Brenner* (Ibid., p. 557-572; bibliographie de 65 art.); — L. Kober, *Bericht über die geotektonischen Untersuchungen im östlichen Tauernfenster und seiner weiteren Umrahmung* (Sitzungsber. k. Akad. Wiss. Wien, mathem.-naturw. Kl., CXXI, Abt. 1, 1912, p. 425-459); — *Führer zu geologischen Exkursionen in Graubünden und in den Tauern* (19. August bis 8. September 1912), unter Mitwirkung deutscher und österreichischer Fachgenossen herausgegeben von der Geologischen Vereinigung (Geol. Rundschau, III, 1912, p. 421-456 et 520-536, 22 fig. dans le texte, pl. V, VI; chaque division est précédée d'une liste bibliogr.); — P. Termier, *Résultats scientifiques de l'Excursion alpine de la « Geologische Vereinigung » : Les nappes lépontines à l'Ouest d'Innsbruck* (C. R. Acad. Sc., CLV, 1912, 2e sem., p. 602-608); *Les nappes lépontines dans les Tauern* (Ibid., p. 678-683); — B. Sander, *Geologische Studien am Westende der Hohen Tauern* (Denkschr. k. Akad. Wiss. Wien, mathem.-naturw. Kl., LXXXII, 1914, p. 257-320, 17 fig., 4 pl. dont 1 carte, 1910; bibliogr.).]

en faveur de cette hypothèse, c'est que la surface de charriage austro-alpine supporte, dans le massif de la Silvretta et dans l'Oetzthal, de puissantes masses cristallines qui disparaissent vers le Nord, de sorte qu'à la limite du Flysch la nappe ne descend pas au-dessous du Trias.

Les *Carpathes*[1] sont très instructives.

Marcel Bertrand a insisté à plusieurs reprises, et notamment dans une conférence faite à Zürich en 1894, sur le fait que certains faciès sédimentaires se répètent dans les grandes chaînes de montagnes. Il signale, à titre d'exemples : les sédiments transformés en gneiss, le terrain houiller, le Flysch crétacé et éocène, et enfin la Mollasse. Tous ces terrains se seraient accumulés dans des dépressions, et auraient été affectés plus tard par les mouvements orogéniques. Le terrain carbonifère des Alpes Occidentales a été qualifié de « flysch houiller »[2].

Ce n'était là qu'une intuition, sans doute, mais l'intuition d'un maître. Beaucoup ne l'ont pas comprise. L'on sait aujourd'hui qu'une ceinture de terrain houiller suit tout le bord externe des Altaïdes Occidentales, partout où l'on peut l'examiner, de la Silésie jusqu'au-delà du

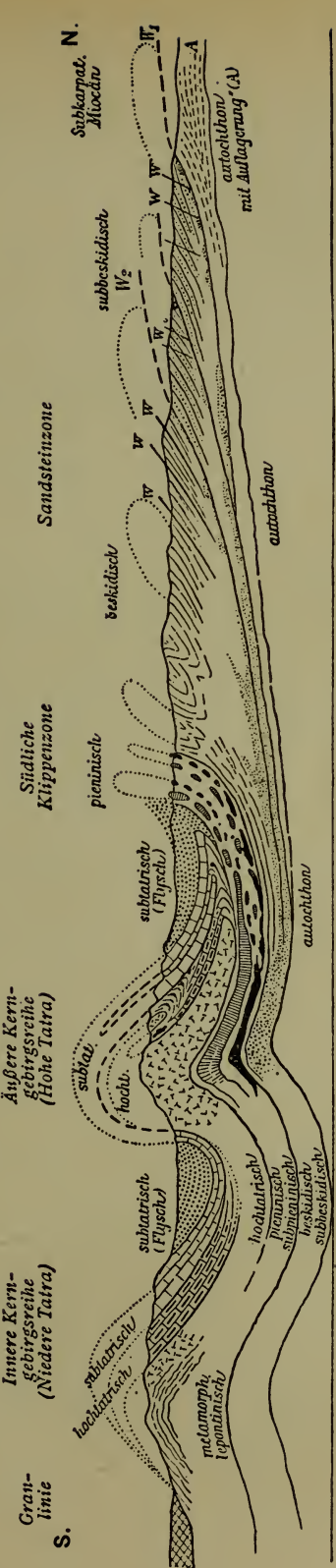


Fig. 345. — Essai d'une coupe schématique de la Haute Tatra, d'après V. Uhlig.

W1. Chevauchement de la nappe sous-beskidique sur les argiles salifères en place; W2. Chevauchement de la nappe beskidique; W, W. Chevauchements moins importants. Les lignes ponctuées au-dessus de W1 et aux extrémités de W, W indiquent des lambeaux mésozoïques entraînés. — Longueurs = 1 : 750 000.

[1. Voir III, 2e partie, p. 857, fig. 185. W. Goetel, *Fortschritte der Tatra- und Karpatentektonik in den letzten Jahren* (Mitteil. Geol. Gesellsch. in Wien, V, 1912, p. 105-112, 3 fig. coupes).]

2. Marcel Bertrand, *Structure des Alpes françaises et récurrence de certains faciès sédimentaires* (Congrès Géol. Internat., C. R. VIe Session, Zürich, 1894, p. 161-177).

Mississipi, et qu'à Paruschowitz, en Silésie, un sondage poussé jusqu'à 2 003 mètres de profondeur n'est pas parvenu à le traverser. On connaît, de même, le Flysch sur le bord externe d'un grand nombre de chaînes de montagnes.

La structure du bassin houiller franco-belge demeurerait inconnue sans les travaux de mines, et celle du Flysch ne devient visible que quand des roches résistantes s'intercalent dans sa masse.

La courbe très régulière de klippes qui entoure la Haute-Tatra est l'indice d'un mouvement d'ensemble vers le Nord, qui ne peut pas avoir été dirigé autrement qu'en biais, de bas en haut. Quand Lugeon écrivit son célèbre mémoire sur les Carpathes, il ne douta pas un instant que les klippes ne fussent sorties du Flysch, en décrivant un arc de cercle. Uhlig, d'accord avec lui, s'est représenté le phénomène sur une échelle encore plus grandiose : la « région de déferlement frontal » (*anfbrandende Stirnregion*) des klippes piénines émergerait de dessous la Haute-Tatra suivant des surfaces obliques (*W*, *W*, fig. 345).

Ces surfaces de poussée W, W sont des surfaces listriques. Elles correspondent à la faille du Carabinier et autres accidents du même genre en Belgique. Leur inclinaison est d'abord assez douce, puis plus forte. Elles circonscrivent des paquets en forme de coins qui peuvent subir des déplacements relatifs dans la direction du Nord, et il est très probable que l'arc des klippes a été amené au jour grâce à leur présence.

Nous pouvons arrêter là ces comparaisons. La structure des Alpes se retrouve, non seulement comme traits généraux, mais même pour un grand nombre de détails, dans la zone d'Erriboll et dans le bassin houiller franco-belge. Le Flysch et le terrain houiller se sont déposés dans des conditions très différentes, mais, au point de vue mécanique, le rôle qu'ils jouent est analogue.

Cette analyse ne conduit provisoirement qu'à un résultat, c'est que la force tangentielle agissant dans une seule direction se manifeste surtout de deux manières différentes : d'une part par le plissement, et de l'autre par le déplacement de paquets isolés ou même de massifs de grandes dimensions, suivant des surfaces obliques, s'élevant des profondeurs. Les surfaces listriques se trouvent dans des synclinaux écrasés et appartiennent à cette catégorie d'accidents. Leur forme concave n'est peut-être que la conséquence de la charge moindre qu'ont à supporter les parties antérieures. Les surfaces de charriage telles que les *major thrusts*, la faille du Midi, les plans de poussée des nappes alpines et des Dinarides appartiennent à un autre ordre de choses. Toutes ces surfaces, par leur origine comme par leur allure, diffèrent des surfaces *disjonctives*.

CHAPITRE XXIV

LES PROFONDEURS[1]

Constitution des Profondeurs. Parallèle avec les météorites. Le platine et le nickel. Distribution des éléments chimiques dans l'écorce terrestre. Le gisement de Sudbury (Canada).
Dégagements gazeux. Rôle de la vapeur d'eau dans les éruptions volcaniques; eaux vadoses et eaux juvéniles. Température des laves.
Batholithes. Mise en place du granite par digestion des roches encaissantes : Erzgebirge, Bretagne; veines périphériques de pegmatite. Histoire des mines de Joachimsthal.
Relations avec les Volcans. Définitions. Batholithe de Marysville; exemples divers; masses intrusives de l'Absaroka. Granite du Transvaal. L'éruption de la Montagne Pelée. Rôle des gaz juvéniles. Batholithes simiques.
Injection passive. Filons de grès; filons bitumineux. Extrusion par pression hydrostatique. Laccolithes de l'Ouest Américain.
Les Roches vertes; leur association avec les dépôts de mer profonde (Radiolarites). Rapports avec les charriages : Himalaya, Nouvelle-Zélande, Dinarides.

Constitution des Profondeurs. — Les considérations suivantes sur les profondeurs de la Terre auront pour point de départ le parallèle institué par Daubrée entre l'ensemble des météorites, actuellement connues dans les collections, et l'ensemble du Globe terrestre; ce parallèle fait ressortir qu'en admettant que toutes les météorites aient été groupées jadis suivant leur densité, de manière à former une masse unique, l'on arrive à se représenter un corps dont la constitution serait analogue à celle de la Terre[2]. A un noyau de nickel et de fer représenté

[1. Traduit par Albert Michel-Lévy.]

[2. A. Daubrée, *Expériences synthétiques relatives aux météorites. Rapprochements auxquels elles conduisent, tant pour la formation de ces corps planétaires que pour celle du globe terrestre* (Annales des Mines, 6e sér., XIII, 1863, p. 1-65; C. R. Acad. Sc., LXII, 1866, 1re sem., p. 200, 369 et 660; Bull. Soc. Géol. de France, 2e sér., XXIII, 1865-1866, p. 391-417); *Études récentes sur les Météorites* (Journal des Savants, 1870, p. 40, 114, 178 et 243); *Études synthétiques de Géologie expérimentale.* In-8°, Paris, 1879, II, p. 473-703, fig. 178-257; *Les météorites et la constitution du globe terrestre* (Revue des Deux Mondes, 3e période, LXXII, 1885, p. 882-910; reprod. Assoc. Scient. de France, XII, 1885-1886, p. 211-238); *Les régions invisibles du Globe et des espaces célestes.* In-8°, 204 p., 78 fig. Paris, 1888 (Bibliothèque Scientifique Internationale); *Observations sur les conditions qui paraissent avoir présidé à la formation des météorites* (C. R. Acad. Sc., CXVI, 1893, 1re sem., p. 345-347).]

par la météorite d'Agram ou celle d'Elbogen, par exemple, succéderait une enveloppe de fer nickelé avec péridot (Rittersgrün), formant le passage à une enveloppe, moins riche en fer, de silicates de magnésie (Chassigny). Alors commenceraient les roches feldspathiques (*eukrite ;* Juvinas, Stannern). Là ne se termine pas encore la comparaison. Les roches feldspathiques acides de la Terre sont représentées parmi les météorites, au point de vue de leur composition chimique, par les *tektites* complètement fondues (*moldavite*, *australite*, *billitonite*). Les météorites les plus légères, contenant du carbone, sont assimilées à des tufs.

En tout cas, la comparaison de Daubrée nous a conduits assez loin pour que nous puissions oser aujourd'hui un pas de plus. En considérant la réapparition de certains types pétrographiques dans les diverses chutes, la découverte de petits corps célestes en deçà de Jupiter et au delà de Mars, enfin la vraisemblance que certains astéroïdes sont des fragments anguleux éclatés, nous admettrons que les météorites sont des débris planétaires : elles représentent probablement les fragments d'une planète « Anonyme », circulant jadis entre Mars et Jupiter[1].

En outre, nous admettrons trois zones ou enveloppes pour représenter la constitution de la Terre, savoir : la barysphère ou le *nife* (Ni-Fe), puis le *sima* (Si-Mg) et le *sal* (Si-Al). Cette subdivision se distingue de la classification qui a été proposée par d'éminents pétrographes américains, par la distinction de la barysphère métallique (*nife*).

1. Ed. Suess, *Über Einzelheiten in der Beschaffenheit einiger Himmelskörper* (Sitzungsber. K. Akad. Wiss. Wien, Mathem.-naturw. Kl., CXVI, Abt. 1, 1907, p. 1555-1561). On sait que l'hypothèse de l'origine cosmique des météorites repose sur la grande vitesse avec laquelle ces astéroïdes pénètrent dans l'atmosphère; mais l'observation du phénomène est si difficile que les spécialistes les plus éminents ont obtenu, dans certains cas, des trajectoires hyberboliques et, dans d'autres, elliptiques. Le fait qu'on peut répartir en un petit nombre de groupes (de trois à cinq ou six) les centaines de météorites connues, et même la simple possibilité d'une classification pétrographique, demeurent des raisons décisives contre l'origine cosmique. Peu de temps après la publication de la note précitée, G. Tschermak a fait paraître une étude très instructive, d'où il résulte que les météorites de même constitution atteignent le Globe terrestre au bout de périodes d'une année, ou avec un déplacement régulier de la date de chute annuelle; on note, par exemple, 6 chutes d'eukrite avec avance régulière du point nodal. La question de l'origine cosmique n'est pas définitivement tranchée par ce travail, mais une nouvelle voie est ouverte aux recherches. G. Tschermak, *Über das Eintreffen gleichartiger Meteoriten* (Sitzungsber. k. Akad. Wiss. Wien, Math.-nat. Kl., CXVI, Abt. II a, 1907, p. 1407-1441). [Pour un exposé de l'état actuel de la science sur la nature et l'origine des météorites, voir l'article de F. Berwerth : *Meteoriten*, dans le *Handwörterbuch der Naturwissenschaften*, VI (In-8°, Jena, 1912, p. 845-862), et les rapports du même auteur : *Fortschritte in der Meteoritenkunde seit 1900* (in : Fortschritte d. Mineralogie, Kristallogr. u. Petrogr., herausg. v. G. Linck In-8°, Jena, I, 1911, p. 257-290; II, 1912, p. 227-258; III, 1913, p. 245-272 : bibliogr. de 483 art.). Consulter en outre le précieux catalogue de L. Fletcher, *An Introduction to the Study of Meteorites, with a List of the Meteorites represented in the Collection* (British Museum, Natural History, Mineral Department), 10th ed. In-8°, 120 p., London, 1908; et le mémoire de W. A. Wahl, *Beiträge zur Chemie der Meteoriten* (Zeitschr. f. anorganische Chemie, LXIX, 1911, p. 52-96).]

Wiechert arrive, en s'appuyant sur une étude mathématique, à admettre une enveloppe pierreuse externe de 1 400 kilomètres d'épaisseur, avec une densité de 3,0 à 3,4, à l'intérieur de laquelle existerait un noyau de fer de 5 000 kilomètres avec une densité de 7,8. Il trouve la confirmation de cette hypothèse dans les observations sismiques, desquelles on peut conclure à la présence d'une limite tranchée vers 1 500 kilomètres de profondeur. Oldham déduit également des observations sismiques une limite à environ un quart du rayon (1 594 kilom.), ce qui s'accorde d'une façon remarquable avec les résultats de Wiechert; toutefois cette limite indiquée par Oldham ne cadre qu'avec la transmission des vibrations sous l'Océan Pacifique, et non sous le continent eurasiatique [1].

Nous aurons d'abord recours à l'autre moyen de comparaison.

Dans les fers météoriques se rencontrent aussi les métaux lourds; c'est ainsi, par exemple, que Davison y a trouvé du platine et de l'iridium, et Liversidge de l'or [2]. Sur la Terre, ces métaux apparaissent là où ils ont le plus vraisemblablement une origine autochtone, dans le *sima* et parfois, comme dans les fers météoriques, en compagnie de Ni, Cro et Fe. Dans les minerais de nickel de Sudbury (Canada), dont nous parlerons bientôt, le platine est suffisamment abondant pour que son extraction du nickel soit rémunératrice. Là, il apparaît à l'état de sperrylite ($Pt\ As_2$). Vogt signale la présence de l'or et du pla-

1. E. Wiechert, *Über die Massenvertheilung im Innern der Erde* (Nachrichten Königl. Gesellsch. d. Wiss. Göttingen, Math.-physik. Kl., 1897, p. 221-243); le même, *Was wissen wir von der Erde unter uns? Vortrag* (Deutsche Rundschau, CXXXII, 1907, p. 376-394): R. D. Oldham, *The Constitution of the Interior of the Earth, as revealed by Earthquakes* (*Second Communication*). *Some new Light on the Origin of the Oceans* (Quart. Journ. Geol. Soc., LXIII, 1907, p. 344-350; en particulier p. 347). [Voir aussi J. Milne, *Recent Advances in Seismology* (Proc. Royal Soc. London, Ser. A, LXXVII, 1906, p. 365-376, pl. I): E. Wiechert und K. Zoeppritz, *Über Erdbebenwellen* (Nachrichten Königl. Gesellsch. d. Wiss. Göttingen, etc., 1907, p. 415-549, 3 pl.); Cte de Montessus de Ballore, *La Science Séismologique. Les Tremblements de Terre.* In-8°, Paris, 1907, p. 326-379; le même, *La Sismologie moderne. Les Tremblements de Terre.* In-16, Paris, 1911, p. 241-262. — H. Benndorf, *Über die physikalische Beschaffenheit der Erdinnern* (Mitteil. Geol. Gesellsch. Wien, I, 1908, p. 322-342); G. Ricchieri, *Le più recenti cognizioni e ipotesi sulle condizioni dell' interno della Terra* (Estr. della « Miscellanea di Studi », pubbl. pel Cinquantenario della R. Accademia Scientifica Letteraria di Milano). In-8°, 47 p., 1909; Al. Véronnet, *La forme exacte de la Terre et sa constitution interne* (Revue Générale des Sc., XXIV, 1913, p. 494-497). — Sur l'épaisseur de l'écorce solide du Globe et les conditions auxquelles ses différentes parties sont soumises, consulter : C. R. Van Hise, *A Treatise on Métamorphism.* In-4°, Washington, 1904, p. 657, 1005, etc. (U. S. Geol. Survey, Monograph XLVII); O. Hecker, *Der Aufbau der Erdkruste in mathematisch-physikalischer Hinsicht* (Geogr. Zeitschr., XIV, 1908, p. 13-20); Frank D. Adams, *An Experimental Contribution to the Question of the Depth of the Zone of Flow in the Earth's Crust* (Journ. of Geol., Chicago, XX, 1912, p. 97-118, pl. I, II); L. V. King, *On the Limiting Strength of Rock under Condition of Strain existing in the Sarth's Interior* (Ibid., p. 119-138); J. v. Wolff, *Der Vulkanismus*, I. In-8°, Stuttgart, 1914, p. 13-33.]

2. Liversidge, *Gold in Meteorites* (Proc. Royal Soc. New South Wales, XXIV, 1902, p. xxiv); l'existence de gisements de ce genre avait été prévue depuis longtemps (voir, par exemple, Ed. Suess, *Die Zukunft des Goldes.* In-8°, Wien, 1877, p. 354).

tine dans des minerais de nickel de Scandinavie. Les grains de platine de Nijni-Taghilsk se trouvent, d'après Inostrantzev, dans du fer chromé (ou dans de la limonite). On exploite les plus riches gisements de platine de l'Amérique du Nord sur la rivière Similkameen (Colombie Britannique), dans une formation simique contenant du sima et du fer chromé. Kemp dit que tantôt c'est le fer chromé, tantôt le platine qui s'est séparé en dernier lieu. Beck indique des cas dans lesquels le platine et l'osmiure d'iridium ne se sont isolés qu'après la consolidation du fer chromé et du pyroxène [1].

Il faut ajouter à ces exemples l'apparition du fer nickelé métallique (awaruite) dans des conditions analogues, comme nous l'avons déjà dit à propos des Monts Klamath. L'awaruite a été découverte par Skey, au Nord de la Big Bay (Awarui), dans le Sud de la Nouvelle-Zélande. Elle est connue dans les laveries d'or de Lilloet sur le Fraser (Colombie Britannique), en plusieurs endroits dans la serpentine de l'Orégon, qui contient de l'or et de l'osmiure d'iridium, sur la Smith River, Del Norte County (Californie), puis dans la Haute Italie sur les bords de l'Elvo, près de Biella, dans un sable aurifère qui paraît provenir des moraines de la vallée d'Aoste [2].

Des roches d'origine abyssale, ou tout au moins d'une constitution

1. A. Inostrantzeff, *La forme du platine dans sa roche mère de l'Oural* (Travaux Soc. des Naturalistes, St.-Pétersbourg, Section de Géol. et Minéralog., XXIII, 1895, p. 1-8, 1 pl., et C. R. Acad. Sc. Paris, CXVIII, 1894, 1er sem., p. 264-265); J. H. L. Vogt, *Platingehalt im Norwegischen Nickelerz* (Zeitschr. f. prakt. Geol., X, 1902, p. 258-260); D. Day, 19th Ann. Rept. U. S. Geol. Survey, 1897-98, part 6 (*Mineral Resources of the United States, 1897*), p. 268; J. F. Kemp, *The Geological Relations and Distribution of Platinum and associated Metals* (U. S. Geol. Survey, Bull. n° 193, 1902, 95 p., 9 fig., 6 pl.); R. Beck, *Die Nickelerzlagerstätte von Sohland a. d. Spree und ihre Gesteine* (Zeitschr. Deutsch. Geol. Gesellsch., LV, 1903, p. 296-330, fig. 1-13, pl. XII-XIV), et *Über die Struktur des uralischen Platins* (Berichte Gesellsch. d. Wiss. Leipzig, Math.-phys. Kl., LIX, 1907, p. 387-396, pl. IV-VI). [Voir, en outre, la grande monographie de N. Wyssotzky, *Die Platinseifengebiete von Iss- und Nischny-Tagil im Ural.* Lieferung 1 : Text. In-4°, vi-694 p., 2 cartes et pl. I-VII : phot.; Lieferung II. Tafeln (VIII-XXXIII) et 2 cartes géol. en 6 feuilles, St-Pétersbourg, 1913 (Mém. du Comité Géol., Nouv. sér., Livr. 62; en russe, résumé all^d, p. 630-694); et la *Notice préliminaire sur les gisements de platine dans les bassins des rivières Iss, Wyia, Toura, Niasma (Oural)* du même auteur (Bull. du Comité Géol., XXII, 1903, p. 533-559, pl. VIII, IX : cartes géol.; en russe, résumé en fr.); L. Duparc, *Le Platine et les gîtes platinifères de l'Oural.* Extrait des Archives des Sc. phys. et Nat., Genève, XXXI, Mars-Juin 1911. In-8°, 80 p., 13 fig. dont 11 cartes géol. (renferme, p. 78-80, une importante liste bibliographique); L. Duparc und H. G. Holtz, *Notiz über die chemische Zusammensetzung einiger Platinerze aus dem Ural* (Tschermak's Mineralog. u. Petrogr. Mitteil., XXIX, 1910, p. 498-504); L. Duparc et P. Pamfil, *Sur la composition chimique et l'uniformité pétrographique des roches qui accompagnent la dunite dans les gisements platinifères* (Bull. Soc. française de Minéralogie, XXXIII, 1910, p. 347-375).]

2. G. H. F. Ulrich, *On the Discovery, Mode of Occurrence, and Distribution of the Nickel-Iron Alloy Awaruite, on the West Coast of the South Island of New Zealand* (Quart. Journ. Geo . Soc., XLVI, 1890, p. 619-632, carte); G. S. Jamieson, *On the natural Iron-Nickel alloy, Awaruite* (Amer. Journ. of Sc., 4th Ser., XIX, 1905, p. 413-415); A. Sella, *Sur la présence du Nickel natif dans les sables du torrent Elva, près de Biella, Piémont* (C. R. Acad. Sc. Paris, CXII, 1891, 1er sem., p. 171-173).

compatible avec une pareille origine, apparaissent donc à la surface du globe plus souvent qu'on ne pourrait le présumer *a priori*. Ceci explique l'intérêt spécial qui, dans les études tectoniques, s'attache aux roches connues sous le nom de *roches vertes*. La forme la plus répandue de ces roches est la serpentine avec minerai de chrome plus ou moins nickelifère, passant plus rarement au minerai de nickel franc. Le chrome y étant la matière la plus abondante, nous l'appellerons *crofesima*; il serait plus exact de dire *nicrofesima* et dans certains cas *nifesima*.

D'ailleurs, certaines circonstances tendent à indiquer que l'enveloppe salique ne possède qu'une épaisseur assez restreinte.

Il ressort des études de J. H. L. Vogt que le cortège minéral des pyrites magnétiques nickélifères de Norvège (*nifesima*), au contact des norites, est différent de celui des minerais de contact salique. En outre, on doit déduire des observations de Sir Norman Lockyer que le cortège du *nifesima* est formé des matières mêmes qui apparaissent dans le spectre de l'étoile α du Cygne et dans celui du Soleil (à l'exception du platine). Les métaux typiques du cortège du *sal* n'apparaissent pas, par contre, dans α du Cygne (peut-être à l'exception de l'yttrium et du lithium); plusieurs de ces métaux sont cependant visibles dans le spectre solaire de Fraunhofer, mais ils y sont peu apparents[1]. Ceci nous conduit à penser que si la Terre avait une constitution analogue à celle du Soleil et de l'étoile α du Cygne, et si elle venait à être convertie en une grosse sphère de feu, les métaux saliques y apparaîtraient moins que ceux qui forment le cortège du *sima*.

Ce fait que l'enveloppe salique, celle-là même que nous avons principalement sous les yeux, n'entre pas pour une part très considérable dans la masse de la planète, ressort d'ailleurs aussi de sa faible densité, environ 2,7, par rapport à la densité moyenne de la Terre, qui est de de 5,5 ou 5,6.

Nous concluons que si, en fait, l'existence d'une limite tranchée à 1 500 kilomètres de profondeur se confirme, celle-ci ne peut pas représenter la limite entre le *sal* et le *sima*, mais seulement entre le *sima* et le *nife*, c'est-à-dire la limite supérieure de la barysphère. Si l'on compare une série de météorites se composant en même temps de *sima* (péridot) et de *nife*, on a le droit de s'étonner non seulement de la séparation tranchée des deux groupes, mais du contraste non moins frappant des

1. J. H. L. Vogt, Zeitschr. f. prakt. Geol., II, 1894, p. 887; *Weitere Untersuchungen über die Ausscheidungen von Titaneisenerzen in basischen Eruptivgesteinen* (Ibid., VIII, 1900, p. 233-242, 370-382; IX, 1901, p. 9-19, 180-186, 289-296, 327-340); Norman Lockyer, *Spectroscopic Comparison of Metals present in certain Terrestrial and Celestial Light Sources, with special Reference to Vanadium and Titanium* (Publication of the Solar Physics Committee, London, 1907, p. IX); voir aussi Ed. Suess, Sitzungsber. K. Akad. Wiss. Wien, Mathem.-naturwiss. Kl., CXVI, Abt. I, 1907, p. 1555-1561.

densités. Dans la masse de Toula, la densité du *nife* est de 7,33 et celle du *sima* qui l'accompagne (peut-être non entièrement débarrassé du fer?) de 4,15; dans la masse de Krasnoïarsk, ces densités sont respectivement de 7,16 à 7,86 contre 3,43; dans celle de Rittersgrün de 7,5 contre 3,23, et ainsi de suite[1].

De si grands écarts peuvent bien favoriser la formation d'une limite tranchée de différenciation.

Wiechert fixe, d'après ses calculs, à une profondeur de 1 500 kilomètres la limite de l'enveloppe pierreuse ayant une densité de 3,0 à 3,4, contre le noyau de fer de densité 7,8. La concordance des densités saute aux yeux.

L'enveloppe salique est principalement constituée par du gneiss ou, plus exactement, par l'ensemble de sédiments métamorphiques variés et de batholithes qui sont réunis sous ce nom, depuis le gneiss à hornblende, déjà assez riche en *sima*, du faîte voisin du Baïkal jusqu'au prétendu gneiss « normal » de Freiberg avec 65 à 66 de SiO_2, et jusqu'au gneiss rouge de l'Erzgebirge, qui contient près de 76 p. 100 de SiO_2. Ici, il n'y a d'analogie avec les corps célestes que pour les tektites.

La stratosphère, ou enveloppe sédimentaire plus récente, est presque entièrement constituée aux dépens de l'enveloppe salique, et cela, pour employer l'expression de Bischof et de Walther, par la voie ou, plus exactement, par les voies du triage[2]. Ces voies sont, en effet, multiples, depuis la pénétration de la décomposition dans l'orthose jusqu'au balayage des déserts de sable par les tempêtes et jusqu'au travail silencieux des êtres vivants. D'après F. W. Clarke, il n'y a que huit corps qui forment les 99,66 p. 100 des parties externes de l'écorce terrestre. Ce sont : O, Si, Al, Fe, Ca, Mg, Na et K[3]. Deux de ces

1. Ces inclusions d'olivine ne renferment presque pas de nickel, métal très répandu au contraire dans les olivines terrestres. Daubrée rappelle que le nickel a moins d'affinité pour l'oxygène que le fer, et attribue le fait en question à cette circonstance. Voir aussi sur ce point O. C. Farrington, *The Constitution of Meteorites* (Journal of Geol., Chicago, IX, 1901, p. 397).

2. J. Walther, *Ueber die Auslese in der Erdgeschichte*. In-8°, 36 p., Jena, 1895.

3. F. W. Clarke, *The Relative Abundance of the Chemical Elements* (U. S. Geol. Survey Bull. n° 78, 1891, p. 34-42; voir aussi le n° 148, 1897, p. 9-14) [et *The Data of Geochemistry*, 2d ed. (U. S. Geol. Survey, Bull. 491, 1911, p. 12-39, chap. I : « The Chemical Elements »)]; J. H. L. Vogt, *Ueber die relative Verbreitung der Elemente besonders der Schwermetalle und über die Concentration der ursprünglich fein vertheilten Metallgehaltes zu Erzlagerstätten* (Zeitschr. f. prakt. Geol., VI, 1898, p. 225-238, 314-327, 377-392, 413-420); voir aussi L. de Launay, *La distribution des éléments chimiques dans l'écorce terrestre. Introduction à la Géologie chimique* (Revue Générale des Sc., XV, 1904, p. 386-404). [Voir aussi les travaux suivants du même auteur : *Sur le poids atomique moyen de l'écorce silicatée terrestre* (C. R. Acad. Sc., CL, 1910, 1re sem., p. 1270-1272); *La Science Géologique. Ses méthodes, ses résultats, ses problèmes, son histoire*, 2e éd. In-8°, Paris, 1913, p. 627-665; *Traité de Métallogénie. Gites minéraux et métallifères*. 3 vol. in-8°, Paris et Liège, 1913 (I, p. 12-33 : « Distribution primitive des éléments chimiques; proportion relative des éléments chimiques dans les parties superficielles de la Terre »).]

corps simples, Al et Mg, sont respectés par le travail des organismes; Ca est préféré, en même temps que Si, malgré son insolubilité relative. En dehors de ces huit corps, les Bactéries accomplissent quelques autres séparations : elles recouvrent de pyrite de fer le fond de la Mer Noire; des grains de manganèse sont précipités par les Algues, etc.

La conception hypothétique de l'intérieur de la planète à laquelle nous arrivons est donc la suivante : un noyau de *nife* et de métaux lourds occupe les trois quarts inférieurs du rayon, puis, à environ 1 500 kilomètres au-dessous de la surface externe, viennent, après une séparation assez tranchée, les *crofesima* et *nifesima* et toutes les autres roches simiques jusqu'au *sal*. D'autres observations nous permettront plus tard d'approfondir l'analyse de la constitution du globe. La stratosphère, bien que traversée et recouverte par endroits de masses simiques, peut être, dans l'ensemble, attribuée au *sal*.

La description faite par Coleman des plus riches gisements connus de nickel, ceux de Sudbury au Canada (fig. 346), permet de se faire une idée approximative de la constitution probable des parties supérieures de la planète [1].

Une série de roches, puissante de 2 000 mètres environ, repose sur des gneiss, des granites, des quartzites, etc., et sous d'épais sédiments précambriens. Cette série forme une cuvette, longue de 58 kilomètres sur 26,5 kilomètres de large (fig. 346, 347). En haut, elle est constituée par une formation granitique contenant en moyenne 66,87 p. 100 de SiO^2; cette formation, par appauvrissement en Si, Na et K et par enrichissement en Ca et Mg, passe peu à peu vers le bas à des roches que les auteurs nomment granodiorite, diorite quartzifère, syénite micropegmatitique. Le terme ultime est une norite grise avec 54,61 pour cent de $Si\ O^2$.

A sa base, sans limite précise vers le haut, et recouvrant la surface et l'intérieur des inégalités du substratum, se trouvent les minerais de nickel : une couronne de mines entoure la base de la grande cuvette. A côté de Fe, Ni et Cu se présente du cobalt, puis, dans l'ordre de

1. A. P. Coleman, *The Sudbury Nickel Field* (Ontario, Report Bureau of Mines, Toronto, XIV, part 3, 1905. In-8°, IV-188 p., 1 grande carte géol.); du même, *The Sudbury Laccolithic Sheet* (Journ. of Geol., Chicago, XV, 1907, p. 759-782, carte de la p. 761). Voir aussi A. P. Barlow, *Report on the Origin, Geological Relations and Composition of the Nickel and Copper Deposits of the Sudbury Mining District, Ontario, Canada* (Geol. Survey of Canada, Ann. Rept., New Ser., XIV, 1904, part H. In-8°, 236 p., 24 pl., 5 cartes); et *The Sudbury Mining District* (Ibid., XV, 1902-03, A, p. 254-269). [Consulter surtout A. P. Coleman, *The Nickel Industry : with Special Reference to the Sudbury Region, Ontario* (Canada, Department of Mines, Mines Branch). In-8°, VIII-206 p., 14 fig., 64 pl. et 8 cartes géol. coloriées (nos 181-178), dont une grande *Geological Map of Sudbury Nickel Region* à l'échelle de 1 mille au pouce Ottawa, 1913; éd. française : *L'Industrie du Nickel, particulièrement dans la région de Sudbury, Ontario*. In-8°, VIII-212 p., mêmes illustr. Ottawa, 1915.]

leur abondance, de l'argent, du platine, une faible quantité d'or libre, d'iridium, d'osmium, enfin des traces de rhodium et de palladium.

On passe ainsi, sur cette faible distance de 2 000 mètres, d'un granite salique à une zone nifésimique avec métaux lourds. Ces constatations concordent avec celles que Vogt a rassemblées dans les mines de nickel de Norvège. La différenciation s'est produite ici, comme le

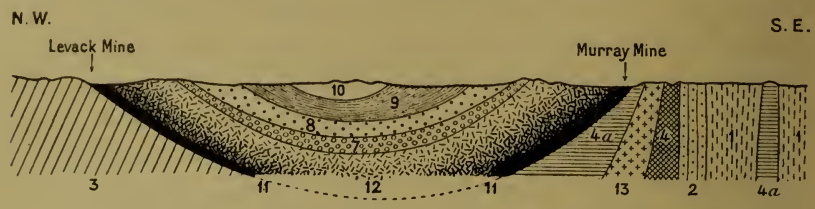


Fig. 346. — Coupe à travers la cuvette nickelifère de Sudbury (Canada), d'après A.P. Coleman (*Journal of Geology*, XV, 1907, p. 763).

Échelle des longueurs 1 : 400 000. — Même légende que pour la fig. 347. 4 *a*, norites anciennes.

montrent les relations des minerais avec le soubassement, sous l'influence essentielle de la pesanteur, et l'on peut affirmer dès à présent que Na et K diminuent plus tôt que Ca et Mg.

Pour qu'une telle différenciation ait pu s'accomplir à Sudbury, les diverses roches ont dû, au préalable, être amenées à l'état de mélange fondu; puis s'est effectuée une deuxième fois, peut-être même une troisième fois, cette même différenciation. Mais le résultat s'accorde de très près avec les notions auxquelles on arrive par d'autres voies, c'est-à-dire avec l'hypothèse de la différenciation primaire qui paraît avoir accompagné la formation originelle du globe terrestre. C'est comme si une expérience avec recuit s'était faite devant nous.

Dégagements gazeux. — Le fait que la vapeur d'eau est l'une des causes déterminantes des éruptions volcaniques est depuis longtemps connu; mais quelle peut être l'origine de cette eau? On a cherché une explication dans la proximité de la mer. Daubrée a essayé de démontrer expérimentalement que l'eau d'infiltration pouvait atteindre les profondeurs où règne une température élevée[1]. Poulett Scrope objecta

[1. A. Daubrée, *Expériences sur la possibilité d'une infiltration capillaire à travers des matières poreuses, malgré une forte compression de vapeur : applications possibles aux phéno-*

LÉGENDE DE LA FIGURE 347.

Série de Sudbury : 1. Schistes et grauwackes; 2. Quartzites. — 3. « Laurentien » : Granite et gneiss postérieurs à la série de Sudbury; 4. Schistes verts, gabbros, etc.; 5. Granite et gneiss granitoïde antérieurs à la formation nickelifère. — Huronien inférieur : 6. Conglomérat. — Huronien supérieur ou Animikie : 7. Conglomérat de Trout Lake; 8. Tufs d'Onaping; 9. Schistes ardoisiers d'Onwatin; 10. Grès de Chelmsford. — Formation nickelifère : norite (11), passant vers le haut à la micropegmatite (12). — 13. Granite postérieur à la formation nickelifère; 14. Dykes de diabase. — Échelle de 1 : 400 000.

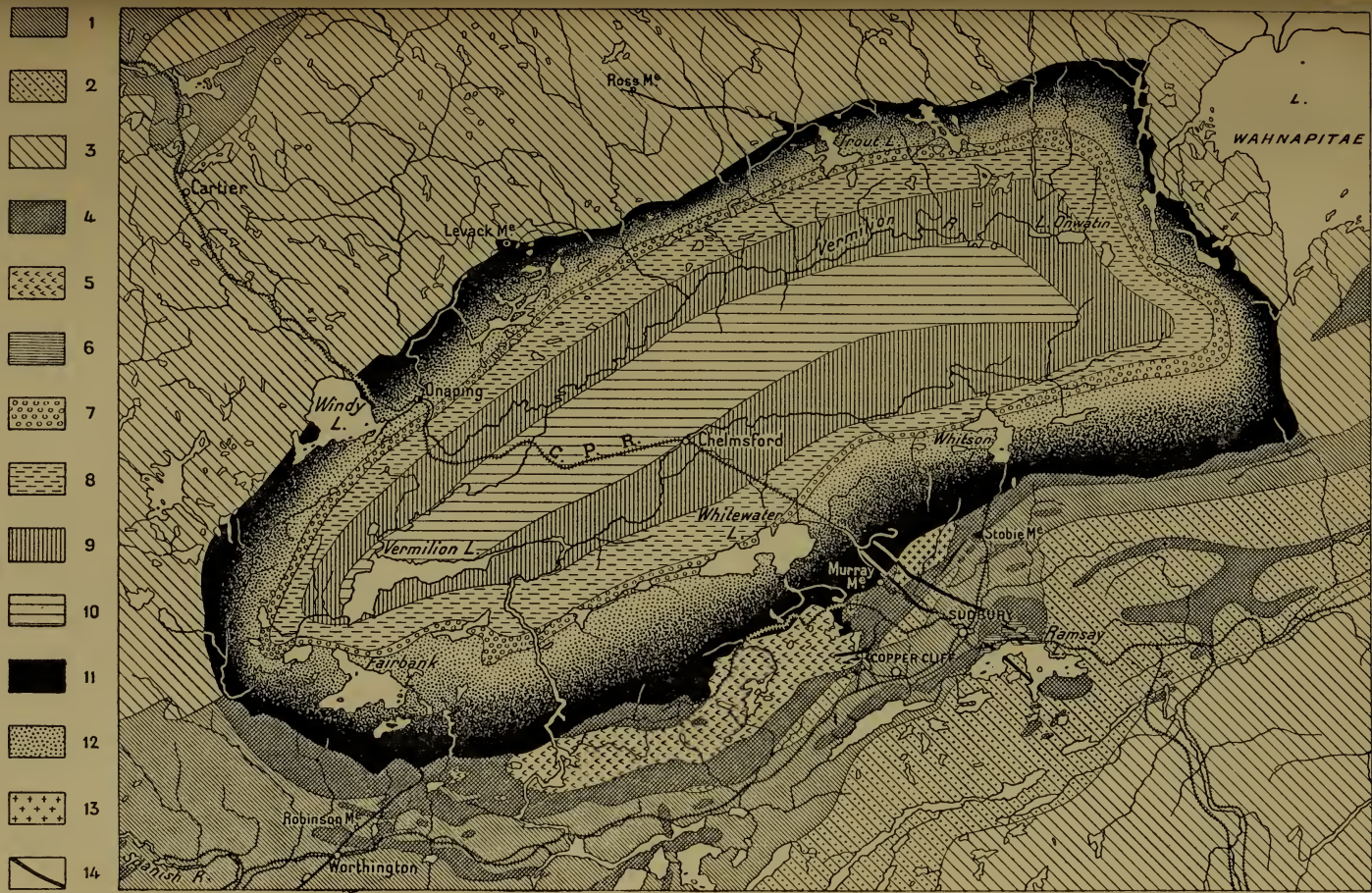


FIG. 347. — Gîtes de nickel de Sudbury (Canada), d'après A. P. Coleman (*Report of the Bureau of Mines, Ontario*, XIV, pt. 3, 1905). Corrections d'après la carte du même auteur publiée par le *Department of Mines* du Canada en 1913 (n° 171).

que, laissant de côté toutes les autres difficultés, on n'avait considéré dans ces expériences que l'arrivée de l'eau jusqu'à la surface de la lave, mais non le mélange intime qui, en fait, est réalisé. Bischof demanda comment on pouvait expliquer, en admettant une infiltration de ce genre, la sortie de l'acide carbonique. Ainsi prirent naissance des doutes très justifiés [1].

C'est dans une autre voie que se trouve la solution.

De même que le fer fondu se charge d'une masse extraordinaire de gaz et, en se refroidissant, les laisse échapper, le globe terrestre, lui aussi, a jadis absorbé un énorme volume de gaz, dont le dégagement se poursuit encore de nos jours.

Cette constatation a conduit tout d'abord à distinguer deux sortes d'eaux. Les eaux *vadoses*, dont le nom a été choisi originairement par Pošepny pour caractériser les eaux s'infiltrant à fleur de terre dans les filons, comprennent toutes les eaux de la surface : océans, fleuves, pluies provenant des nuages, et aussi les eaux artésiennes, etc. Les eaux *juvéniles*, par contre, sont celles qui prennent naissance quand, sous très haute pression et à très haute température, l'hydrogène provenant de l'intérieur de la Terre se combine avec l'oxygène de l'atmosphère; Les flocons de vapeur blanche projetés par les éruptions volcaniques

mènes géologiques (Bull. Soc. Géol. de France, 2e sér., XVIII, 1860-1861, p. 193-203; C. R. Acad. Sc., LII, 1861, 1er sem., p. 123-125); *Études synthétiques de Géologie expérimentale.* In-8°, Paris, 1879, I, p. 235-246; *Les eaux souterraines à l'époque actuelle.* In-8°, Paris, 1887, II, p. 210-218. — Pour une critique des expériences de Daubrée, voir J. Johnston and L. H. Adams, Journal of Geol., Chicago, XXII, 1914, p. 1-15.]

1. Toute la bibliographie ancienne se trouve réunie dans E. Reyer, *Beitrag zur Fysik der Eruptionen.* In-8°, xv-225 p., 7 pl., Wien, 1877. La question est discutée avec détails par G. Tschermak, *Uber den Vulcanismus als kosmische Erscheinung* (Sitzungsber. K. Akad. Wiss. Wien, Mathem.-naturw. Cl., LXXV, Abt. I, 1877, p. 151-176); A. C. Lane, *Geologic Activity of the Earth's originally absorbed Gases* (Bull. Geol. Soc. of America, V, 1894, p. 259-280); C. R. Van Hise dit : « In regional extrusions it... appears highly probable, that the occluded water has been held largely by the magma from the first » *Earth Movements* (Trans. Wisconsin Acad. Sc., XI, 1898, p. 498, note). Voir en outre C. Doelter, *Zur Physik des Vulcanismus* (Sitzungsber. K. Akad. Wiss. Wien, Mathem.-naturwiss. Kl., CXII, 1903, Abt. I, p. 681-705, notamment p. 703); N. S. Shaler croyait trouver l'explication dans la teneur en eau des sédiments situés à une grande profondeur : *Conditions and Effects of the Expulsion of Gases from the Earth* (Proc. Boston Soc. Nat. Hist., XXVII, 1897, p. 89-106). [— Sur les gaz volcaniques et l'origine de la vapeur d'eau rejetée par les volcans, voir l'ouvrage de F. v. Wolff, *Der Vulkanismus*, I. In-8°, Stuttgart, 1914, p. 72-123 et 549-638; bibliographie); — voir aussi R. T. Chamberlin, *Contributions to Cosmogony and the fundamental Problems of Geology. Gases in Rocks.* In-8°, 80 p., Washington, 1908 (Carnegie Institution of Washington, Publication n° 106); — A. Brun, *Nouvelles études de Géochimie et de Géophysique. Recherches sur l'exhalaison volcanique.* In-8°, 279 p., 17 fig., 34 pl. phot., Genève-Paris, 1911; le même, *Les recherches modernes sur le volcanisme* (Revue Générale des Sciences, XXI, 1910, p. 51-58, 7 fig. phot.); — A. L. Day and E. S. Shepherd, *Water and Volcanic Activity* (Bull. Geol. Soc. of America, XXIV, 1913, p. 573-606, pl. 17-27 : phot.); les mêmes, *Water and the Magmatic Gases* (Journ. Washington Acad. Sc., III, 1913, p. 457-463); *L'eau et les gaz magmatiques* (C. R. Acad. Sc. Paris, CLVII, 1913, 2e sem., p. 958-961); *Conclusions à tirer de l'analyse des gaz du cratère du Kilauca* (Ibid., p. 1027-1030).]

forment des nuages, et les pluies vadoses qui en résultent coulent sur les flancs des volcans.

Les eaux thermales juvéniles apportent des profondeurs des éléments minéraux inattendus[1].

De même qu'il y a de l'H juvénile, les volcans fournissent Cl, Fl, S, As, C à l'état juvénile et une série d'autres éléments; on observe dans les fumerolles un ordre de succession déterminé pour la fin de chaque émission, de sorte que, dans certaines éruptions, il s'échappe une grande variété de gaz, mais Cl et Fe cessent les premiers, puis S et As, tandis que C dure le plus longtemps. De cette façon, on peut établir une certaine échelle des températures, à savoir Cl Fl, S As et C; mais cela n'empêche pas que, par exemple à Java, les dégagements de Cl persistent depuis très longtemps, que les solfatares sont assez répandues et que celle de Pouzzoles[2], notamment, donne S et As; enfin l'acide carbonique sort en abondance sur certains points du globe qui n'ont pas vu d'éruptions volcaniques depuis l'époque tertiaire[3].

Les sources chaudes, si tant est qu'elles soient juvéniles, ne sont qu'une forme atténuée des volcans. On comprend dès lors, par exemple, la teneur en chlore des eaux thermales de Carlsbad, et comment ces eaux peuvent apporter annuellement à la surface un million de kilogrammes de sel commun, qui traverse le granite sans toutefois provenir de cette roche.

Laspeyres a appelé l'attention sur les grandes quantités d'acide carbonique que contient le granite; d'après lui, 1 kilomètre cube d'un tel granite suffirait pour alimenter durant 273 dizaines de siècles les sources de Nauheim. Mais cet acide carbonique est enfermé à l'état liquide dans les inclusions du quartz, et Delkeskamp dit avec raison qu'il est difficile de comprendre quelles sont les conditions qui peuvent bien intervenir pour en provoquer l'écoulement permanent[4].

1. Ed. Suess, *Über heisse Quellen* (Verhandl. Gesellsch. Deutsch. Naturforsch. u. Aerzte, Karlsbad, 1902, Allg. Theil). In-8°, 20 p. Leipzig, 1902). [Voir aussi R. Delkeskamp, *Fortschritte auf dem Gebiete der Erforschung der Mineralquellen* Zeitschr. f. prakt. Geol., XVI, 1908, p. 401-443); K. Schneider, *Beiträge zur Theorie der heissen Quellen* (Geol. Rundschau, Leipzig, IV, 1913, p. 65-102, pl. III, IV).]

[2. H. Haas, *Ueber die Solfatara von Pozzuoli* (Neues Jahrb. f. Min., 1907, II, p. 65-108, pl. III-V : phot.).]

[3. Pour un essai d'explication, voir F. Henrich, *Theorie der Kohlensäureführenden Quellen, begründet durch Versuche* (Zeitschr. f. Berg-, Hütten- u. Salinenwesen, L, 1902, p. 531-557).]

4. R. Delkeskamp, *Vadose und juvenile Kohlensäure* (Zeitschr. f. prakt. Geol., XIV, 1906, p. 33-47). Cette circonstance est également négligée par Arm. Gautier, *La genèse des eaux thermales et ses rapports avec le volcanisme* (Annales des Mines, 10e sér., IX, 1906, p. 316-372). Les gaz de fumerolles, que Gautier cite, à titre comparatif (p. 338), ne contiennent pas

Chaque éruption volcanique augmente, par conséquent, la quantité d'eau vadose existant à la surface du sol. L'atmosphère également en reçoit sans cesse un enrichissement. Tandis que l'on pensait autrefois que la mer alimente les volcans par infiltration, elle devient aujourd'hui la partie prenante, et les quantités de chlore qui, d'ordinaire, apparaissent en même temps prouvent, de même, que *les eaux des océans sont un produit du dégagement gazeux de la planète*[1].

Les pulsations rythmiques qui se produisent parfois dans les cratères ont la même cause que les pulsations des sources bouillantes. En septembre 1902, Sapper a observé des pulsations de ce genre dans un cratère latéral de l'Izalco[2]. En mars 1871, on vit au Vésuve deux pulsations, une plus lente dans le cratère principal et une beaucoup plus rapide dans un cratère latéral situé sur la pente extérieure du cône. La lave du cratère latéral contenait des cristaux de leucite, fondus seulement dans les parties superficielles. Dès que le ciment était fondu, les gaz se dégageaient, probablement en grappes de bulles, du flux en fusion; ils se réunissaient, soulevaient dans la cheminée la surface de la masse en ébullition d'environ 1 mètre, et l'explosion se produisait au bout de 6 ou 8, parfois seulement de 15 secondes.

Doelter place le point de fusion de la lave du Vésuve à 1090°, celui de la leucite à 1310°[3]. Johnston-Lavis décrit en détail les cristaux de

de Cl, peut-être parce qu'ils n'étaient pas les plus chauds; la teneur en Cl des sources serait difficile à concilier avec une origine granitique. [Consulter, en outre, les travaux suivants d'Arm. Gautier : *Action de l'oxyde de carbone, au rouge, sur la vapeur d'eau, et de l'hydrogène sur l'acide carbonique; application de ces réactions à l'étude des phénomènes volcaniques* (C. R. Acad. Sc., CXLIII, 1906, 1er sem., p. 1382-1387); *Action de l'hydrogène sulfuré sur quelques oxydes métalliques et métalloïdiques. Applications aux phénomènes volcaniques et aux eaux thermales* (Ibid., CXLIII, 1906, 2e sem., p. 7-12); *Origine des eaux thermales et de leur minéralisation* (Revue Scientifique, 5e sér., VIII, 1907, p. 545-548 et 577-582); *Sur les gaz des fumerolles volcaniques* (C. R. Acad. Sc., CXLVIII, 1909, 1er sem., p. 1708-1715); *Observations sur la nature et l'origine des gaz qui forment des fumerolles volcaniques ou qui sortent des anciens volcans* (Ibid., CXLIX, 1909, 2e sem., p. 84-91); *L'intervention et le rôle de l'eau dans les phénomènes volcaniques* (Annales des Mines, 10e sér., XVI, 1909, p. 213-230); *Caractères différentiels des eaux de source d'origine superficielle ou météorique et des eaux d'origine centrale ou ignée* (C. R. Acad. Sc., CL, 1910, 1er sem., p. 436-441); *Intervention réelle et rôle de l'eau dans les phénomènes éruptifs* (Assoc. Fr. Av. des Sc., XXXVIII, Lille, 1909, Notes et Mém., p. 455-460); Observations sur une note de MM. Day et Shepherd (C. R. Acad. Sc., CLVII, 1913, 2e sem., p. 1030-1031).]

1. Ce point est traité avec ampleur par F. Freih. von Richthofen, *Das Meer und die Kunde vom Meer* (Rede, zur Gedächtnissfeier des Stifters der Berliner Universität, gehalten zu Berlin am 3. August 1904). In-4°, 45 p.; en particulier p. 12 et suiv.

2. K. Sapper, *Die jüngsten Ereignisse am Vulkan Izalco* (*Salvador*) (Centralbl. f. Min., 1903, p. 111); une bonne comparaison des « pulsations » dans les sources thermales et les volcans a été donnée dès 1842 par K. Fr. v. Graefe, *Die Gasquellen Süd-Italiens und Deutschlands*. In-8°, Berlin, 1842, p. 35 et 42.

[3. Ces évaluations sont beaucoup trop faibles, ainsi qu'il résulte des températures déterminées expérimentalement par A. Brun; voir son *Étude sur le point de fusion des minéraux*, 2e *mémoire* (Archives des Sc. Phys. et Nat., Genève, 4e période, XVII, 1904, p. 537-552),

leucite brisés, en partie cicatrisés, surfondus aux angles ou bien encore traversés de zones concentriques de microlithes et d'inclusions gazeuses. Ils dénotent soit des mouvements violents, soit la variation de la température dans la cheminée [1].

Dans les Monts Cheviot, sur la frontière de l'Écosse, des laves andésitiques se montrent recoupées par des filons de porphyre pétrosiliceux quartzifère. Mais Teall a trouvé que les phénocristaux des andésites correspondent aux parties basiques du magma primitif, tandis que le porphyre pétrosiliceux quartzifère des filons est identique à la pâte vitreuse fondamentale, c'est-à-dire aux eaux-mères après dépôt des phénocristaux [2].

Dans les tufs des Monts Albains, on peut recueillir des grappes de cristaux de leucite accolés les uns aux autres et en même temps des cristaux d'augite libres et à arêtes vives.

La nuée ardente qui, le 8 mai 1902, détruisit Saint-Pierre de la Martinique, contenait des cristaux de plagioclase et d'hypersthène. Lacroix et d'autres observateurs en ont conclu qu'elle s'échappait de l'intérieur de la Terre à moins de 1280°; elle n'a pas fondu les fils de cuivre des lignes téléphoniques et, d'après cela, n'a atteint la malheureuse ville qu'à moins de 1058°; mais sa température a dû cependant dépasser 650 à 700°, d'après les observations de Sapper sur des bouteilles à demi fondues [3].

Dans les deux premiers cas, les phénocristaux prouvent que les dernières coulées en fusion sont le résultat d'un recuit. Les circonstances

et surtout ses *Recherches sur l'exhalaison volcanique*. In-8°, Genève-Paris, 1911, p. 31-47. — Consulter, en outre : J. H. L. Vogt, *Die Silikatschmelzlösungen, mit besonderer Rücksicht auf die Mineralbildung und die Schmelzpunkterniedrigung* (Christiania Vidensk.-Selsk. Skrifter, 1903, I, n° 8, p. 1-161, pl. 1, 2; 1904, I, n° 1, p. 1-236, pl. 1-4); — C. Doelter, *Die Silikatschmelzen, 4. Mitteilung* (Sitzungsber. K. Akad. Wiss. Wien, Math.-naturw. Kl. Abt. 1, CXV, 1906, p. 723-755, pl. I, II); *Über die Schmelzpunkte der Silikate* (Ibid., p. 1329-1346, pl. I, II); *Handbuch der Mineralchemie*. In-8°, Dresden, I, 1911-1912, p. 628-804; — A. L. Day and R. B. Sosman, *The Melting-Points of Minerals in the Light of Recent Investigation on the Gas Thermometer* (Amer. Journ. of Sc., 4th Ser., XXXI, 1911, p. 341-349); — A. L. Day, *Das Studium der Mineralschmelzpunkte* (Fortschritte der Mineralogie, Kristallogr. u. Petrogr., hrsg. v. G. Linck, IV, 1914, p. 115-160).]

1. G. vom Rath, *Der Vesuv am 1. und 17. April 1871* (Zeitschr. Deutsch. Geol. Gesellsch., XXIII, 1871, p. 710); voir aussi Ed. Suess, *Ueber heisse Quellen*, p. 6; H. J. Johnston-Lavis, *The Geology of Monte Somma and Mount Vesuvius, being a Study in Vulcanology* (Quart. Journ. Geol. Soc., XL, 1884, p. 35-119, pl. II; en particulier p. 90 et 94).

2. J. J. H. Teall, *The Consolidation of Igneous Magmas* (*The Anniversary Address of the President*; Quart. Journ. Geol. Soc., LVII, 1901, p. LXXXII); un exemple très instructif est donné par A. Lacroix, *Quelques observations minéralogiques faites sur les produits de l'incendie de Saint-Pierre, Martinique*. (C. R. Acad. Sc., CXXXV, 1902, 2e sem., p. 1068-1071.) De nombreux cas de cette cristallisation fractionnée sont décrits par R. A. Daly, *The Origin of Augite Andesite and of related Ultra-Basic Roeks* (Journ. of Geol., Chicago, XVI, 1908, p. 401-420).

3. K. Sapper, *Die vulcanischen Kleinen Antillea und die Ausbräche der Jahre 1902 und 1903* (Neues Jahrb. f. Min., 1904, II, p. 17). [Voir aussi le grand ouvrage d'A. Lacroix, *La Montagne Pelée et ses Éruptions*. In-4°, Paris, 1904, p. 212-216, 270-281, 607-636.]

qui, au Vésuve, ont amené l'élévation de la température jusqu'au point de fusion de la lave, mais non de la leucite, doivent laisser l'impression que *les gaz qui s'élèvent rythmiquement ont été eux-mêmes les véhicules de la chaleur dans les cheminées volcaniques, exactement comme ils le sont dans les sources chaudes.* Les deux autres cas montrent la violente montée des gaz qui provoque la réduction des matériaux solides en poussière.

Ce mécanisme jette également la lumière sur l'inégale hauteur des deux mers de feu de l'Ile Hawaii[1]. Deux ou trois mille mètres de différence de niveau relatif ne sont rien en comparaison de la profondeur d'où proviennent les gaz et prouvent seulement une certaine indépendance des deux cheminées.

Avec cette notion des gaz, véhicules de la chaleur, plus d'une opinion ancienne se trouve modifiée. L'eau juvénile possédera la faculté indiquée par Arrhenius et McMahon de dissoudre du quartz[2]. Le degré géothermique perd son importance pour la détermination de l'origine des eaux thermales juvéniles. Aux laves venant de la profondeur s'adjoignent des recuits secondaires; par là s'éclaire la tendance fréquente de ces recuits à séparer les phénocristaux de la pâte. Le Soleil montre un état de dégagement gazeux presque libre. Dans la Lune, le dégagement gazeux paraît terminé. Le globe terrestre a puisé ses océans en lui-même et se trouve dans une phase intermédiaire.

Batholithes. — Cette désignation a été créée (I, p. 218) pour les grands gâteaux, le plus souvent granitiques, qui paraissent avoir été introduits dans les terrains stratifiés. A cette époque, sous l'influence des *Residual Lakes* de Hopkins et des *Maculæ* de Dutton, je partais de l'hypothèse que l'injection de la masse granitique doit être précédée par la formation d'une cavité correspondante ou l'accompa-

[1. Voir le t. III du présent ouvrage, 3e partie, p. 1056-1059, et ci-après, fig. 384, 385 et p. 1557, note 1. — Consulter, en outre : R. A. Daly, *Igneous Rocks and their Origin.* In-8°, New York and London, 1914, p. 150, 255, 293 et *passim*; F. v. Wolff, *Der Vulkanismus*, I. In-8°, Stuttgart, 1914, p. 452-467, fig. 134-144; — Albert Brun, *Quelques recherches sur le Volcanisme. Sixième et dernière partie. Le Kilauea* (Archives des Sc. phys. et nat., 4e période, XXX, 1910, p. 576-587, pl. XI : phot.); R. A. Daly, *The Nature of Volcanic Action* (Proc. Amer. Acad. Arts and Sciences, Boston, XLVII, 1911, p. 71-85, 97, 102-116, pl. I-V : phot.); W. Penck, *Studien am Kilama* (Zeitschr. d. Gesellsch. f. Erdkunde, Berlin, 1912, p. 180-203); Arnold Heim, *Lavafelder des Kilauea, Hawaii* (Geologische Charakterbilder, herausgegeben von H. Stille, Heft 16). In-4°, Berlin, 1913, 8 pl. phot., avec 8 p. de texte et 6 fig.; Whitman Cross, *Lavas of Hawaii and their Relations.* In-4°, 97 p., 4 pl. dont 1 carte, Washington, 1915 (U. S. Geol. Survey, Professional Paper 88).]

2. Svante Arrhenius, *Zur Physik des Vulcanismus* (Geol. Fören. i Stockholm Förhandl., XXII, 1900, p. 395-420, en particulier p. 415); C. A. McMahon, *Rock Metamorphism. Presiddential Address Section C, Geologiy* (British Assoc. Adv. Sc, Rept. 72th Meeting, Belfast, 1902, p. 589-596).

gner (par refoulement et par détente). Mais une nouvelle visite aux granites de l'Erzgebirge en 1893, d'après les obligeantes indications de

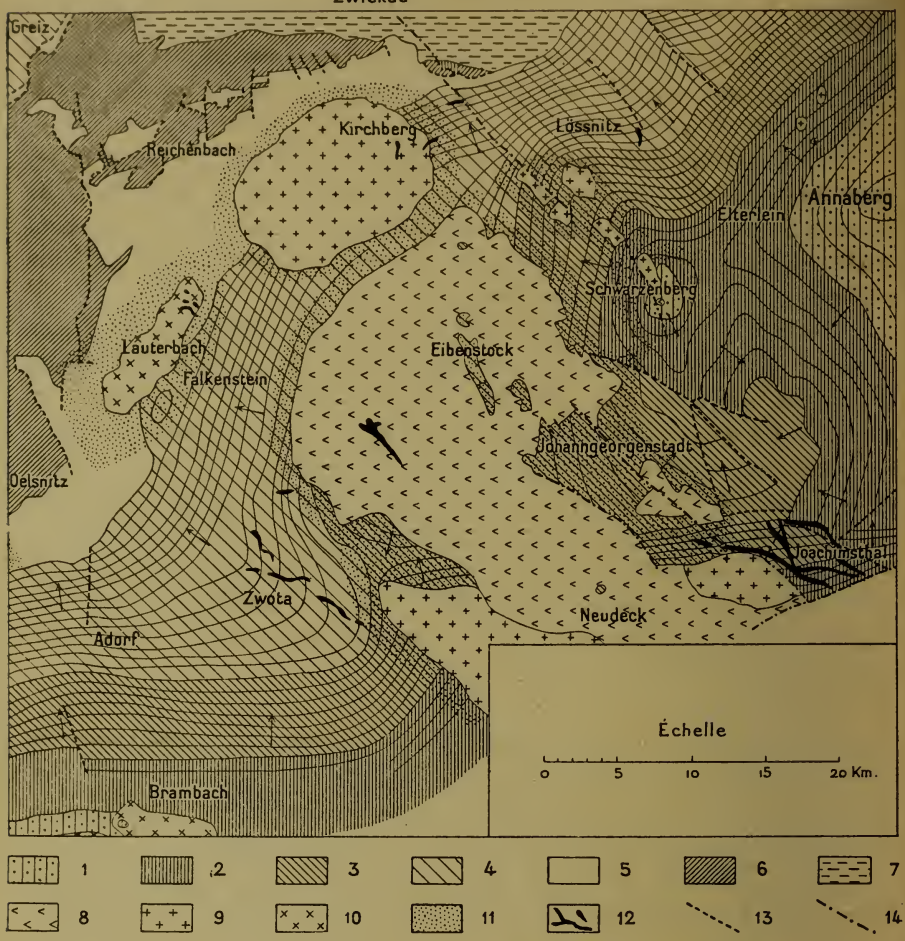


FIG. 348. — Bosses et massifs granitiques de l'Erzgebirge, d'après K. Dalmer (*Zeitschrift f. praktische Geologie*, VIII, 1900, p. 299, fig. 32).

1. Gneiss; 2. Micaschistes; 3. Phyllades, partie inférieure; 4. D°, partie supérieure; 5. Cambrien; 6. Silurien, Dévonien et Culm; 7. Terrain houiller et Grès rouge permien; 8. Granite à Lithionite; 9. Granite à biotite; 10. Granite à deux micas; 11. Auréole métamorphique du Granite; 12. Filons de porphyre; 13. Failles prégranitiques; 14. Failles postgranitiques. — Les courbes tracées à l'intérieur des n°s 1-4 sont à l'équidistance de 400 m.; elles représentent, par conséquent, l'affleurement à la surface du sol de bandes successives d'une épaisseur équivalente. — Échelle de 1 : 500 000.

M. Credner et sous l'amicale conduite du prof. R. Beck, m'a apporté la conviction que les contours de ces masses intrusives recoupent, sans en être influencés, la direction et les plis des terrains encaissants, un peu comme un fer à souder ardent poussé au travers des veines d'une

planche. A ces résultats s'ajoutèrent les constatations sur les fusions dans la Lune, et dès lors, les batholithes furent considérés comme des masses intrusives qui se prolongent dans les « profondeurs éternelles », par opposition avec les laccolithes, qui sont des injections latérales sur un substratum étranger [1].

En fait, l'examen de la nature conduit à la certitude que les batholithes effectuent leur mise en place *par fusion et digestion des roches encaissantes.*

Bien que plusieurs pétrographes distingués repoussent cette manière de voir, parce que l'influence de la digestion des roches encaissantes sur la constitution chimique du magma d'injection ne peut être reconnue qu'exceptionnellement, elle n'est cependant pas nouvelle. Plusieurs géologues l'ont soutenue autrefois; on reconnaît clairement son exactitude, par exemple, pour le granite de Wunsiedel, sur la carte géologique de la Bavière de Gümbel. Plus récemment, le mémoire de Michel-Lévy sur le granite de Flamanville a exercé une influence considérable [2].

De la Beche connaissait déjà la liaison souterraine du granite de Dartmoor et de celui des Iles Scilly; il fit même voir que des filons d'elvan les réunissaient [3].

Les masses granitiques de la région occidentale de l'Erzgebirge sont, comme Dalmer le dit à juste titre, des bosses (*Kuppen*) qui ont pénétré dans les terrains schisteux et des parties de la croupe surélevée d'une masse encore plus vaste qui s'étend sous une portion considérable de ce territoire [4] (fig. 348). Barrois s'exprime d'une manière analogue à propos des granites de Bretagne, et s'appuie également sur un lambeau de grès tourmalinisé comme sur une trace de la

1. Ed. Suess, *Einige Bemerkungen über den Mond* (Sitzungsber. K. Akad. Wiss. Wien, Mathem.-naturwiss. Cl, CIV, Abt. I, 1895, p. 21-54, en particulier p. 53). [Sur les batholithes et les caractères qui permettent de les distinguer des laccolithes, voir : Alfr. Harker, *The Natural History of Igneous Rocks.* In-8°, London [1909], chap. III : « Igneous Intrusion « (p. 60-87, fig. 10-20); R. A. Daly, *Igneous Rocks and their Origin.* In-8°, New York and London, 1914, chap. VI : « Subjacent Bodies » (p. 89-116, fig. 37-66); F. v. Wolff, *Der Vulkanismus*, I. In-8°, Stuttgart, 1914, V. Kap. : « Die vulkanischen Erscheinungen der Tiefe » (p. 183-238, fig. 18-66).]

2. Michel Lévy. *Contribution à l'étude du granite de Flamanville et des granites français en général* (Bull. Service Carte Géol. de la Fr., V, 1893-1894, n° 36, p. 317-357, pl. I-V).

3. Sir Henry T. De la Beche, *On the Formation of Rocks of South Wales and South Western England* (Mem. Geol. Survey of the United Kingdom, I, 1846, p. 1-296, pl. 1-3, dont 2 cartes; par exemple p. 233 et 236).

4. K. Dalmer, *Die westerzgebirgische Granitmassivzone* (Zeitschr. f. prakt. Geol., VIII, 1900, p. 297-313, fig. 52-57, dont 1 carte géol. [reprod. ci-contre, fig. 348]). [Voir aussi la *Geologische Übersichtskarte des Königreichs Sachsen...* nach den Ergebnissen der königl. Sächsischen Geologischen Landesanstalt bearbeitet von H. Credner, 1 : 250 000, Leipzig, 1908.]

liaison souterraine de ces granites[1]. Un coup de rabot de plus, dit Lacroix, et les granites des Pyrénées se trouvent réunis[2].

En Cornwall, les granites suivent jusque dans les Iles Scilly la direction armoricaine. Il en est de même en Bretagne. Dans la partie orientale, varisque, du Plateau Central, Michel-Lévy ne doute pas de la continuité du granite du Morvan avec celui du Lyonnais. Il semble cependant, parfois, que certaines zones de roches sont préférées,

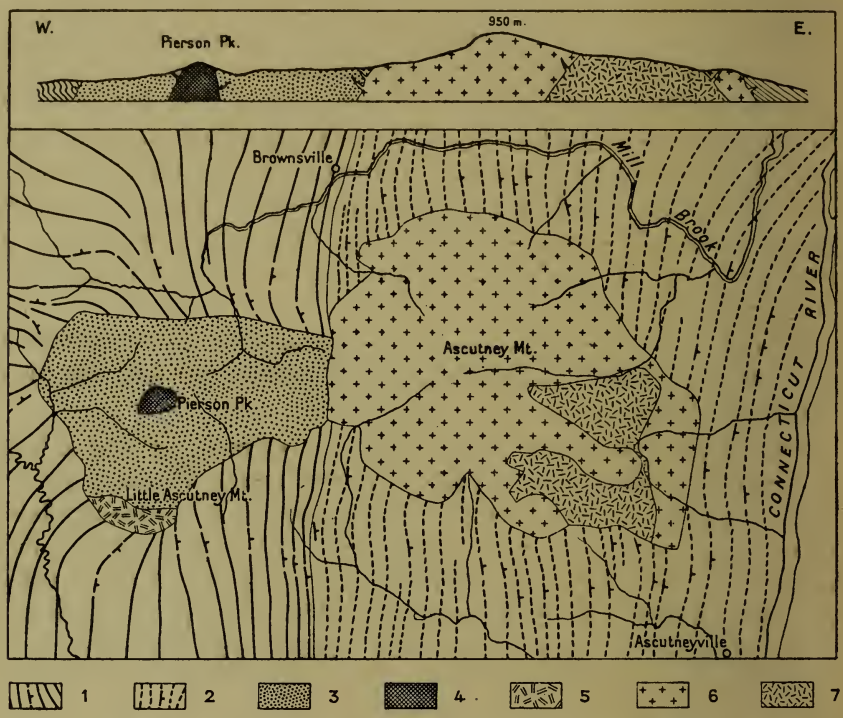


Fig. 349. — Culot éruptif composite du Mont Ascutney (Vermont), d'après R. A. Daly (*U. S. Geol. Survey, Bull.* n° 209, 1903; et *Igneous Rocks and their Origin.* In-8°, New York, 1914, p. 113, fig. 64).

1. Gneiss; 2. Phyllades; 3. Diorite, gabbro et essexite; 4. Pulaskite; 5. Paisanite, etc.; 6. Nordmarkite, etc.; 7, Granite à biotite. — Échelle de 1 : 100 000.

principalement les schistes argileux de différents âges. En Bretagne, on connaît même des cas où le granite a complètement digéré les schistes

1. Ch. Barrois, *Carte de Bretagne au Millionième* (Bull. Service Carte Géol. de la France, XIII, 1901-1902, n° 91, p. 538 et suiv.).

[2. A. Lacroix, *Le granite des Pyrénées et ses phénomènes de contact, 1er mémoire. Les contacts de la Haute-Ariège* (Bull. Service Carte Géol. de la France, X, 1898-1899, n° 64, p. 241-308, fig. 1-14. pl. I-III); 2e *Mémoire. Les contacts de la Haute-Ariège, de l'Aude, des Pyrénées-Orientales et des Hautes-Pyrénées* (Ibid., XI, 1899-1900, n° 71, p. 50-I à 50-LXVIII, fig. 1-16, pl. I-III). — Voir aussi A. Bresson, *Études sur les formations anciennes des Hautes- et Basses-Pyrénées* (Ibid., XIV, 1902-1903, n° 93), p. 139-199.]

et a épargné les lits intermédiaires de quartzites, de telle façon que ces derniers, très métamorphisés, font saillie à l'intérieur du granite[1].

Daly s'appuie, pour l'explication de l'intrusion, sur le cas que les mineurs américains appellent *overheadstoping* — les Allemands disent *Uebersichbrechen* (« brèche par culbute »). Le poids des roches des murs ou du toit est plus grand que celui du magma liquide ou visqueux. Température et poids détachent des morceaux brisés, et ces derniers s'enfoncent dans le magma. Ou bien on les voit en enclaves très

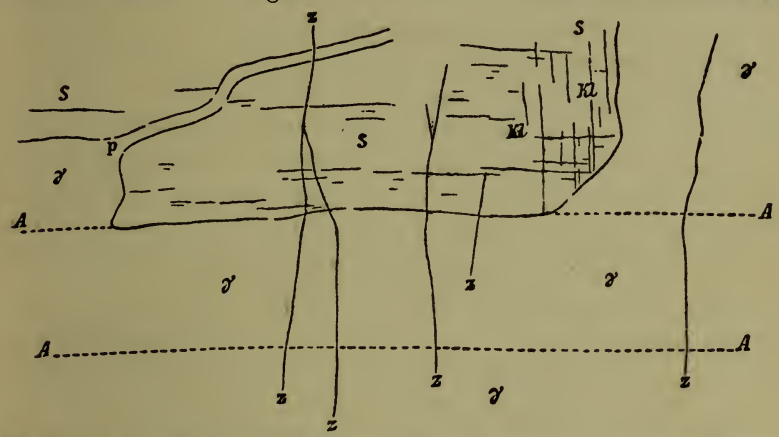


Fig. 350. — Toit du granite de Markersdorf (Saxe), d'après un croquis de l'auteur.

γ. Granite; *A*. Surfaces de division du granite: *S*. Cornes à andalousite; *p*. Filons de pegmatite; *z*. Fissures stannifères (*Zwitterklüfte*); *Kl*. Fentes.

métamorphisées, flottant dans ce dernier, ou bien ils sont digérés dans leur parcours vers la profondeur[2].

L'existence des veines de pegmatite qui s'échappent de la périphérie du batholithe s'explique également par ce moyen. Ces veines répondent souvent aux fentes par lesquelles se prépare la chute d'une partie étendue du toit. C'est pour cela que leur parcours est irrégulier, et qu'elles disparaissent insensiblement à mesure qu'on s'éloigne du batholithe. Elles se garnissent de solutions chaudes, et l'étain et tout

1. Ch. Barrois, *Le Bassin du Menez-Bélair, Côtes-du-Nord et Ille-et-Vilaine* (Annales Soc. Géol. du Nord, XXII, 1894, p. 181-345, pl. III-IX, dont 2 cartes géol.); et ailleurs. [Voir aussi son mémoire, intitulé : *Le granite de Rostrenen, ses apophyses et ses contacts* (Ibid., XII, 1884-1885, p. 1-119); et les deux cartes reprod. dans le *Traité de Géologie* d'Em. Haug, I. *Les phénomènes géologiques*. In-8°, Paris, 1907, fig. 46 et 47, p. 187 et 188.]

2. Reginald A. Daly, *The Mechanics of Igneous Intrusion* (Amer. Journ. of Sc., 4th ser., XV, 1903, p. 269-298; XVI, 1903, p. 107-126 [et XXVI, 1908, p. 17-50]; voir aussi le mémoire du même auteur, *The Geology of Ascutney Mountain, Vermont* (U. S. Geol. Survey, Bull. n° 209, 1903, 122 p., 7 pl. dont 1 carte géol. [reprod. ci-contre, fig. 349]). [Pour un autre exemple de digestion des roches encaissantes par un massif granodioritique, décrit également par R. A. Daly (Castle Peak, 49e parallèle), voir le présent ouvrage, III, 3e partie, p. 1195, fig. 271.] On trouvera des indications bibliographiques étendues dans J. J. Sederholm, *Om Granit och Gneis deras uppkomst, uppträdande och utbredning inom Urberget i Fennoskandia* (Bull. Commission Géol. de Finlande, n° 23, 1907, 110 p., pl. I-VIII, 2 cartes géol.).

le cortège des fumerolles chlorurées et fluorées leur servent de remplissage. R. Beck a dépeint le phénomène d'une manière très instructive, et signalé en même temps sa parenté avec celui des gaz juvéniles[1]. Le spath fluor représente le fluor, la tourmaline le bore, et ainsi de suite; l'or peut être regardé, lorsqu'on le rencontre à l'état libre, comme un indice de la présence du chlore. On sait quels grands déchets produit la juxtaposition, dans un four, des minerais d'or et du chlorure de sodium[2].

La figure 350 représente un fragment d'environ 4 mètres de large du toit du granite stannifère de Markersdorf, au Sud-Est de Dresde, sur le chemin de Gottleuba. *S* est du schiste argileux, transformé en cornes à andalousite. La veine de pegmatite *p* montre la séparation commencée d'une partie du toit. De fines fissures verticales (*z*, *z*) montent du granite dans le toit; ce sont des fentes, désignées sous le nom de *Zwitter*, et accompagnées des deux côtés d'une bordure de sublimations stannifères. Ces sublimations chaudes répondent au remplissage le plus récent. Elles sont également plus récentes que le phénomène de pénétration par culbute[3].

Ceci est une petite scène des événements variés qui s'offrent à l'observation, dès que, poursuivant les phases du refroidissement, l'on recherche dans les filons métallifères accompagnateurs la répartition des minerais primitifs[4]. Il faut d'ailleurs remarquer que parmi les fumerolles chlorées et fluorées actuelles, les plus chaudes seulement ont une température supérieure à 500°. Les filonnets *z* de la figure 350 peuvent ainsi avoir été formés très au-dessous de la température de la pegmatite *p* et la fente *z*, qui recoupe *p*, peut même être une fente de refroidissement ou de retrait.

1. R. Beck, *On the Relation between Ore Veins and Pegmatites* (Trans. Geol. Soc. South Africa, VIII, 1905, p. 147-150).

2. Voir, par exemple, l'Engineering and Mining Journal, New York, August 29, 1903.

3. Exemples analogues dans R. Beck, *Die Contacthöfe der Granite und Syenite im Schiefergebiete der Elbthalgebirges* (Tschermak und Becke, Mineralog. Petrogr. Mitteil., XIII, 1892, p. 290-342, pl. IX).

4. Détails dans J. H. L. Vogt, *Beiträge zur genetischen Classification der durch magmatische Differentiationsprocesse und der durch Pneumatolyse entstandenen Erzvorkommen* (Zeitschr. f. prakt. Geol., III, 1895, p. 145-156, 367-370, 444-459 et 465-484). Un grand nombre d'exemples récents se trouvent indiqués dans les manuels de Beck, De Launay et Bergeat; voir aussi L. De Launay, *Sur les types régionaux de gîtes métallifères* (C. R. Acad. Sc., CXXX, 1900, 1er sem., p. 743-746), et *Sur la notion de profondeur appliquée aux gisements métallifères africains* (Ibid., CXXXIV, 1902, 1er sem., p. 1531-1533). [Consulter, en outre, les travaux suivants de L. de Launay : *Les Richesses minérales de l'Afrique*. In-8°, 395 p., 71 fig., Paris, 1903; I. *La métallogénie de l'Italie et des régions avoisinantes*; II. *Notes sur la Toscane minière et l'Ile d'Elbe* (Congrès Géol. Internat., C. R. Xe Session, Mexico, 1906, p. 555-699, carte en couleur face à la p. 560); *La métallogénie du continent asiatique* (Revue Générale des Sc., XXI, 1910, p. 974-981); *La Géologie et les Richesses minérales de l'Asie*. In-8°, 816 p., 82 fig., 10 pl. cartes, Paris, 1911 (voir surtout la 3e partie : « Métallogénie régionale », p. 483-785).]

On a distingué plus haut les fumerolles Cl Fl, S As et C. On connaît un grand nombre de filons dans lesquels l'une seulement des deux phases I et II est représentée en combinaisons métalliques; si ces deux phases se trouvent réunies, I est alors en haut; la phase III est rarement visible et est la plus profonde. Dans de pareils filons, les métaux suivent l'ordre de succession des fumerolles, avec refroidissement de haut en bas. La phase I est celle de l'étain, dont il vient d'être question; la phase II est celle des combinaisons sulfureuses et arsenicales (pyrites) de cuivre, d'argent, etc. Dans le Cornwall, I alterne avec des pyrites de cuivre appartenant à la phase II. A Freiberg, dit-on, quelques filons de pyrite de cuivre possèderaient un chapeau d'étain [1]. La phase III, de température déclinante, celle des carbonates, correspond à la venue d'uranium de Joachimsthal.

Sur les sommets de l'Erzgebirge se trouvent d'anciens dépôts d'alluvions stannifères, en partie protégés par un revêtement de basalte, et qui ont été accumulés à une époque antérieure (phase I). Sur les versants, en plusieurs endroits, on exploite du minerai d'argent (Abertham, Gottesgab, etc.). Plus bas encore se trouve Joachimsthal. Au XVIe siècle, cette localité a fourni de riches trésors en argent; c'est de là qu'est partie la frappe du Joachims*thaler*, répandu ensuite sur toute la Terre; au XVIIe et plus encore au XVIIIe siècle, le rendement s'amoindrit, et il vint une époque où un regain de notoriété fut provoqué par l'extraction de la couleur bleue des minerais pyriteux de cobalt (fin de la phase II). Plus bas encore, on atteignit les carbonates. Le remplissage des filons de Joachimsthal est un remplissage symétrique. A une mince croûte de quartz, qui tourne vers l'intérieur les pointes de ses pyramides, succède de chaque côté la pechblende avec sa surface supérieure mamelonnée, sans doute déposée dans une solution; tout le milieu du filon est rempli de dolomie cristalline (phase III) [2].

L'histoire de cette ville de mineurs, le passage de la période des laveries d'étain au temps plein de splendeur de l'argent, puis la production du bleu de cobalt, et enfin celle des couleurs d'urane, font toucher du doigt les différences de profondeur originelles des minerais,

1. H. Müller, *Die Erzgänge des Freiberger Erzrevieres* (Erläuterungen zur Geolog. Specialkarte v. Sachsen). In-8°, 1901, p. 140.

2. J. Stěp und F. Becke, *Das Vorkommen des Uranpecherzes zu St. Joachimsthal* (Sitzungsber. K. Akad. Wiss. Wien, Mathem.-naturwiss. Kl., CXIII, 1904, Abth. 1, p. 585-618, 4 fig., 4 pl.; en particulier p. 614). L'altitude du gîte d'étain est de 1050 m. environ; au Puits Werner (altitude : 917 m. 7), de la profondeur de 302 m. 5 au-dessous de l'ouverture (altitude : 615 m. 2. Galerie Danieli) jusqu'au point le plus bas qui soit actuellement accessible (altitude : 502 m.), les minerais d'urane règnent de façon à peu près exclusive. K. Dalmer, *Die westerzgebirgische Granitmassivzone* (Zeitschr. f. prakt. Geol., VIII, 1900, p. 297-313, fig. 52-57, dont 1 carte géol. [reprod. ci-dessus, p. 1472, fig. 348]), conjecture déjà des sources thermales sub-granitiques, par opposition aux fumerolles fluorées de l'étain.

et aussi la succession allant des minéraux sublimés jusqu'aux dépôts de sources thermales et aux dernières manifestations abyssiques.

C'est là un chapitre dans lequel la poursuite des recherches promet la découverte de nombreux faits nouveaux. Les études effectuées par Brögger sur les granites pegmatitiques de Norvège en sont une preuve; elles nous ont appris qu'il peut exister simultanément des combinaisons d'urane et de thorium avec la topaze, le béryl, la tourmaline et autres minéraux de la phase I et avec des pyrites de la phase II, sous des états que l'on serait tenté de placer dans des subdivisions encore supérieures à I[1]. Au Colorado, la péchurane se présente associée à des pyrites (phase II). Ceci cadre bien avec le fait que dans les volcans, toutes les phases apparaissent à la fois, au début, pour ne se différencier que durant le refroidissement. Pour l'étain, il faut noter, comme Daubrée l'a depuis longtemps montré, la constance remarquable de température à laquelle les combinaisons se produisent.

En dehors de ces phases du refroidissement, nous savons par l'appareil des veines de pegmatite, si souvent intact, qui entoure la tête et une partie des côtés d'un batholithe, que depuis l'intrusion, il n'est pas survenu de changements tectoniques importants. Les granites stannifères de l'Erzgebirge sont, par conséquent, plus récents que les plissements varisques, ou du moins leur intrusion s'est poursuivie jusqu'après la fin de ces plissements[2].

Relations avec les Volcans. — Dans un chapitre antérieur, on a cherché, en poursuivant une « série de dénudation »[3], la voie qui conduit des amas de cendres de l'époque actuelle aux masses granitiques de l'Erzgebirge (I, p. 223). Nous allons maintenant explorer la même voie en suivant d'autres traces.

Rosenbusch réalisa un grand progrès en séparant, de façon plus tranchée que cela n'avait été fait jusqu'alors, les roches de profondeur,

1. W. C. Brögger, *Die Mineralien der Südnorwegischen Granitpegmatitgänge, I. Niobate, Tantalate, Titanate und Titanoniobate* (Kristiania Vidensk. Selskab. Skrift., Math.-naturv. Kl., 1906, n° 6, 162 p., 8 pl. dont 1 carte).

[2. Pour des raisons analogues, M. Lugeon et G. Henny ont conclu, récemment, à la postériorité de la mise en place du massif granitique de l'Adamello par rapport aux mouvements qui ont plissé aussi bien les Dinarides que les Alpes (C. R. Acad. Sc. Paris, CLX, 1915, 1er sem., p. 365-368). W. Penck admet, de même, l'âge tertiaire récent, post-alpin, du célèbre massif éruptif de Predazzo (I, p. 203-206); W. Penck, *Der geologische Bau der Gebirges von Predazzo* (Neues Jahrb. f. Min., Beil.-Bd. XXXII, 1911, p. 239-382, 10 fig., pl. IX et X, dont 1 carte géol.). Cette conclusion est, il est vrai, contestée par R. Hœrnes (*Zur Geologie von Predazzo*; Sitzungsber. k. Akad. Wiss. Wien, mathem.-naturwiss. Kl., CXXI, Abt. 1, 1912, p. 3-31), qui persiste à regarder la monzonite comme triasique; résumé critique dans F. v. Wolff, *Der Vulkanismus*, I. Stuttgart, 1914, p. 323-327.]

[3. Pour des données numériques, voir le tableau intitulé : « Denudationsreihe der Vulkane » dans l'ouvrage, déjà cité, de F. v. Wolff, I, p. 333.]

Fig. 351. — Batholithe de Marysville (Montana), d'après J. Barrell (*U. S. Geol. Survey, Professional Paper* n° 57, 1907, pl. I et XI).

Algonkien : 1. Schistes d'Empire et 2. Calcaire d'Helena; 3. Diorite quartzifère; 4. Auréole métamorphique de la Diorite; 5. Aplite, Microdiorite et Porphyre dioritique en dikes et filons-lits; 6. Faille. — Équidistance des courbes tectoniques : 250 pieds anglais (75 m. environ). — Échelle de 1 : 60 000.

les roches de filons et les roches d'épanchement[1]. Dans les roches de profondeur furent comprises toutes celles qui s'élèvent de l'intérieur de la Terre « sans jamais atteindre la surface », et qui, de ce fait, ne parviennent pas à la phase explosive.

L'une quelconque des taches tourmalinifères portées sur la carte géologique détaillée de la Saxe correspond à un point atteint par les vapeurs de bore, c'est-à-dire par les influences pneumatolytiques, mais non encore par le batholithe lui-même dans sa pénétration vers la surface. Si l'érosion avait été poussée plus avant, un appareil de veines pegmatitiques et de filons d'étain apparaîtrait vraisemblablement, puis, sous le toit très métamorphisé, le granite même du batholithe. Mais on peut se demander ce qui serait arrivé si la zone de fusion ou la formation de la brèche de culbute elle-même avait atteint un niveau encore plus rapproché du jour.

On se heurte ici à des lacunes de la terminologie en usage, et cela, dans toutes les langues européennes. Nous appellerons *veines* les ramifications d'une masse plus grande, puissantes à leur origine, se terminant en coin vers leur extrémité la plus éloignée, sans salbandes rectilignes, sans direction ni plongement bien définis. Les veines pegmatiques de l'entourage d'un batholithe en sont le type; ce sont ces solutions de continuité qui, bien souvent, comme dans la figure 350, préparent la chute d'un morceau du toit. Celles-ci devraient rester distinctes des *filons*; mais on a compris sous ce dernier vocable les fentes les plus variées. Daubrée appelait les fentes accompagnées d'une dislocation *paraclases*, et celles n'en laissant entrevoir aucune *diaclases*[2]. Les premières coïncident avec les fentes *exocinétiqnes* de Stelzner, qu'on oppose aux fentes *endocinétiques* (fentes de contraction et de dilatation)[3].

Sans poursuivre plus avant ces essais de classification, nous jetterons un coup d'œil sur l'un des documents les plus instructifs que ces derniers temps nous aient livré sur ces matières, je veux parler de la description du district minier de *Marysville*, dans le Montana, due à Barrell[4]. Le batholithe de Marysville (fig. 351) est formé de diorite

[1. H. Rosenbusch, *Ueber Structur und Classification der Eruptivgesteine* (Tschermak's Min. Petrogr. Mitteil., XII, 1891, p. 351-396).]

[2. A. Daubrée, *Convenance de dénominations spéciales pour divers ordres de cassures de l'écorce terrestre* (C. R. Acad. Sc., XCVIII, 1879, 1er sem., p. 679-680); *Essai d'une classification des cassures de divers ordres que présente l'écorce terrestre* (Ibid., XCIII, 1881, 2e sem., p. 1106-1109; Bull. Soc. Géol. de France, 3e sér., X, 1881-1882, p. 136-142).]

[3. Voir A. von Lasaulx, art. *Gänge* dans le *Handwörterbuch der Mineralogie, Geologie und Palaeontologie* de A. Kenngott (I). In-8°, Breslau, 1883, p. 487-504.]

4. J. Barrell, *Geology of the Marysville Mining District, Montana. A Study of Igneous Intrusion and Contact Metamorphism* (U. S. Geol. Survey, Profess. Paper n° 57, 1907. In-4°, x-178 p., 9 fig., 16 pl. dont 2 cartes; voir, en particulier, p. 158).

quartzifère, et est en quelque sorte un annexe du batholithe beaucoup plus vaste de Boulder [1]. L'exploitation minière suit des fentes de contraction, qui se trouvent au voisinage et en dehors de sa surface supérieure et qui lui sont parallèles. Cette surface a été découverte jusqu'à environ 1 000 pieds [300 mètres] de profondeur; son pendage est faible, mais, par places, interviennent des gradins gigantesques (fig. 352). Il y a en outre des filons injectés. *Ces derniers sont de formation brusque et d'âges différents* (intermittents). S'ils n'avaient pas pris naissance brusquement, l'injection se serait refroidie avant de les remplir, en raison de leur longueur considérable. En cela, dit Barrell, ils se rapprochent des phénomènes volcaniques.

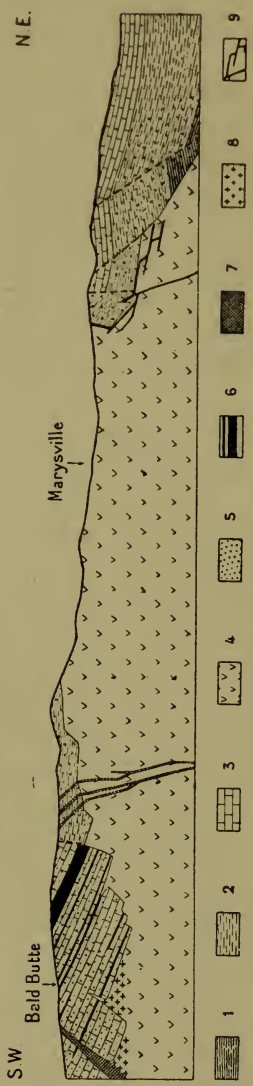


Fig. 352. — Coupe à travers le batholithe de Marysville (Montana), d'après J. Barrell (*U. S. Geol. Survey, Professional Paper* n° 57, 1907, pl. II, section CC).

Algonkien : 1. Schistes de Grayson ; 2. Schistes d'Empire ; 3. Calcaires d'Helena ; 4. Diorite quartzifère ; 5. Auréole métamorphique de la Diorite ; 6. Microdiorite (en filons-lits) ; 7. Porphyre dioritique de Belmont (en dykes) ; 8. Faciès marginal basique de la Diorite ; 9. Filons d'Aplite. — Échelle de 1 : 60 000. Altitude de la ligne de base : 3 000 pieds anglais (914 m).

Nous pouvons nous représenter ainsi la suite des phénomènes : un filon de ce genre atteint le jour et un volcan se forme; à mesure que s'élargit la cheminée, les gaz juvéniles chauds affluent en masse : sous l'influence de cette détente, le mouvement d'expansion du batholithe s'arrête. Il peut arriver, dans un autre cas, que le toit s'écroule sur le sommet du batholithe; un réseau de fentes se forme alors, de

[1. Voir W. H. Weed, *Granite Rocks of Butte, Mont., and Vicinity* (Journal of Geol., VII, 1899, p. 737-750), et surtout la grande monographie du même auteur : *Geology and Ore Deposits of the Butte District, Montana.* In-4°, 262 p., 109 fig., 41 pl. dont 2 cartes géol., Washington, 1912 (U. S. Geol. Survey, Professional Paper 74); en particulier p. 26-30, et

LÉGENDE DE LA FIGURE 353.

1. Crétacé (Montana). — Série éruptive miocène : 2. Brèches basiques inférieures. 3. Basaltes inférieurs; 4. Brèches acides supérieures; 5. Brèches basiques supérieures; 6. Basaltes supérieurs; 7. Roches intrusives pénétrant dans les brèches basiques supérieures (Andésite massive, diorite, et porphyre granitique); 8. Dykes associés à ces roches. — 9. Alluvions et moraines. — Échelle de 1 : 350 000 environ.

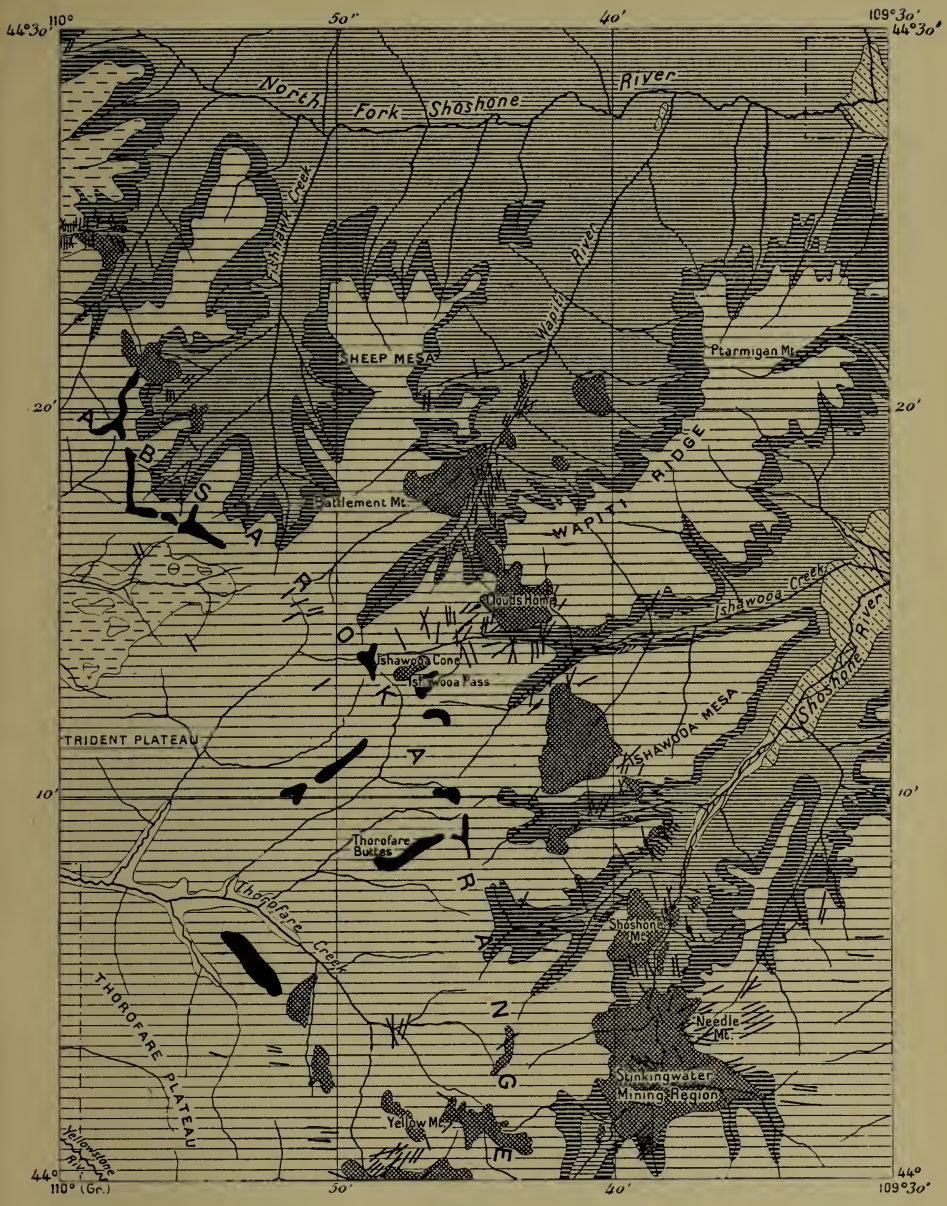


FIG. 353. — Intrusions des Monts Absaroka (Wyoming), d'après Arnold Hague (*Atlas to accompany Monograph XXXII on the Geology of the Yellowstone National Park.* In-folio, Washington, U. S. Geological Survey, 1904, pl. XV).

nombreuses éruptions et des épanchements se produisent, et le batholithe s'arrête également dans la profondeur.

Le second cas paraît se présenter plus fréquemment; mais il y a des exemples bien connus dans lesquels le processus a été différent et où la démolition d'un cône de cendres superficiel révèle, déjà au-dessus de sa base, la roche de profondeur d'un batholithe. Sur les flancs mêmes de la large masse basaltique de *Duppau* en Bohême, il existe de la théralite, coupée de filons de syénite éléolitique [1]. A la base des cendres et des laves des *Monts Euganéens*, on voit apparaître de la syénite augitique [2]. Dans ces exemples et dans de très nombreux cas analogues, la formation de roches similaires s'est poursuivie jusque vers le haut de l'ancienne cheminée. Le *Kénia*, ce volcan géant dénudé, laisse aussi venir au jour à son sommet (par 5790 m. d'altitude environ) une roche très voisine de la syénite néphélinique, la kényte [3]. Ici, l'on ne peut s'empêcher de penser que le magma est monté jusqu'à une grande hauteur au-dessus des régions environnantes, se consolidant en une roche holocristalline sous une couverture relativement mince de roches scoriacées et sans consistance, ou bien que par un afflux prolongé de chaleur, les cendres et les laves elles-mêmes se sont transformées en kényte (III, 3e partie, p. 973).

Bien que cette façon de voir soit en contradiction avec l'opinion adoptée par la plupart des géologues, elle a cependant été formulée par Hague il y a longtemps déjà, à propos des *Monts Absaroka*, dans la région du Yellowstone (fig. 353). Ce savant a mis en doute la nécessité d'une forte pression pour la formation des roches cristallines grenues, et il pense que des masses intrusives importantes peuvent se conso-

la carte, pl. I; A. C. Lawson, *Is the Boulder « Batholith » a Laccolith? A problem in Ore, Genesis* (University of California, Bull. Dept. of Geol., VIII, n° 1, 1914, p. 1-15); A. N. Winchell, *Mining Districts of the Dillon Quadrangle, Montana* (U. S. Geol. Survey, Bull. 574, 1914, p. 29-43).]

1. F. Becke, *Vorläufige Mittheilung über die Auffindung von Theralith am Flurbühel bei Duppau* (Verhandl. k. k. Geol. Reichsanst., 1900, p. 351-353); J. B. Wiesbauer, *Theralith im Duppauer Gebirge* (Sitzungsber. Verein Lotos in Prag, Neue Folge, XXI, 1901, p. 62-69); J. E. Hibsch, *Das körnige Gestein von Rongstock* (Tschermak, Mineralog. Petrogr. Mittheil., XV, 1896, p. 487-489); le même, *Über Sodalitaugitsyenit im böhmischen Mittelgebirge und über die Beziehungen zwischen diesem Gestein und dem Essexit* (Ibid., XXI, 1902, p. 157-170, et ailleurs). L'essexite de Rongstock et la syénite à sodalite et augite de Gross-Priessen affleurent à la surface du sol.

2. F. Graeff und R. Brauns, *Zur Kenntniss des Vorkommens körniger Eruptiv-Gesteine bei Cingolina in den Euganeen bei Padua* (Neues Jahrb. f. Min., 1893, I, p. 123-133).

[3. La kényte est également très développée dans le massif du Mont Erebus (Antarctide); voir R. E. Priestley and T. W. Edgeworth David, *Geological Notes of the British Antarctic Expedition, 1907-09* (Congrès Géol. Internat., XIe Session, Stockholm, 1910, C. R., 2e fasc., p. 785-788); — *British Antarctic Expedition 1907-9. Reports on the Scientific Investigations, Geology*, vol. I. In-4°, London, 1914, p. 208-228 et 257-261; ces laves seront décrites en détail par H. I. Jensen au tome II du même ouvrage.]

lider sans que leur mise en place se traduise par des effets appréciables à la surface [1].

Weed et Barrell sont arrivés à un résultat identique pour le batholithe de *Boulder*, dont la superficie atteint 5 000 kilomètres carrés (fig. 354). Celui-ci se compose de monzonite quartzifère; on ne connaît, comme couverture, que des andésites. A la limite, du côté de cette couverture, s'intercale une zone de granite acide. De fines ramifications vont du batholithe dans l'andésite qui, de ce fait, doit être regardée comme plus anciennement consolidée. Près d'Elkhorn, ce massif atteint encore aujourd'hui 9 000 pieds d'altitude (2 700 m.), soit 5 000 pieds de hauteur relative [1 500 m.] au-dessus de la Boulder Valley.

Il est permis de se demander s'il ne suffirait pas de considérer *l'andésite comme le faciès volcanique de la diorite* (*ou monzonite*) *quartzifère*, et comme le résultat de la fusion même qui a produit le batholithe et qui, après avoir atteint le jour, a persisté sous une forme atténuée [2].

Barrell invoque aussi l'intrusion du granite dans l'andésite de la Chaîne des Cascades (III, 3e partie, p. 1203).

Nous citerons ensuite l'exemple du granite du *Boschveld*, donné par Molengraaff dans son mémoire sur le Transvaal [3]; ce granite, au Nord de Pretoria, s'étend sur 60 000 kilomètres carrés et occupe par conséquent une superficie plus vaste que la Bohême. Les sédiments adjacents,

[1. Voir Arnold Hague, *Early Tertiary Volcanoes of the Absaroka Range* (Presidential Address, Geol. Soc. of Washington, 1899). In-8°, p. 1-25, p. I-III); *Geologic Atlas of the United States*, n° 52, *Absaroka folio, Wyoming*, 1 : 125 000, avec notice par le même, Washington, 1899; et l'Atlas joint à l'ouvrage : *Geology of the Yellowstone National Park* (U. S. Geol. Survey, Monograph. XXXII). In-f°, Washington, 1904, pl. XV, reprod. ci-dessus, p. 1483, fig. 353.]

2. W. H. Weed, *Geology and Ore Deposits of the Elkhorn Mining District, Jefferson County, Montana*, with an Appendix on the Microscopical Petrography of the District by Joseph Barrell (22d Ann. Rept. U. S. Geol. Survey, 1900-1901, part 2, p. 399-550, pl. XLII-LXII, dont 3 cartes; en particulier p. 451); voir aussi J. Barrell, *Geology of the Marysville Mining District*, Profess. Paper n° 57, déjà cité. [Pour d'autres exemples d'intrusions granitiques tertiaires dans le Nord-Ouest des États-Unis, voir W. H. Emmons and F. C. Calkins, *Geology and Ore Deposits of the Phillipsburg Quadrangle, Montana*. In-4°, 271 p., 55 fig., 17 pl. dont 1 carte géol., Washington, 1913 (U. S. Geol. Survey, Professional Paper 78). Voir aussi E. S. Butler, *Relation of Ore Deposits to different Types of Intrusive Bodies in Utah* (Economic Geology, X, 1915, p. 101-122).]

3. G. A. F. Molengraaff, *Géologie de la République Sud-Africaine du Transvaal* (Bull. Soc. Géol. de France, 4e sér., 1, 1901, p. 13-92, 19 fig., pl. I et II, dont 1 carte géol.; bibliogr.); F. H. Hatch, *The Geology of the Marico District, Transvaal* (Trans. Geol. Soc. of South Africa, VII, 1904, p. 1-6, pl. I-III, dont 1 carte). [Voir aussi : G. A. F. Molengraaff, *Geology of the Transvaal*; translated from the French by J. H. Ronaldson. In-8°, Edinburgh and Johannesburg, 1904; F. H. Hatch and G. S. Corstorphine, *The Geology of South Africa*. In-8°, XIV-348 p., 89 fig., 2 cartes géol., London, 1905.]

LÉGENDE DE LA FIGURE 354.

1. Série de Belt (Algonkien); 2. Cambrien; 3. Dévonien; 4. Carbonifère; 5. Crétacé; 6. Andésite, tufs et brèches; 7. Monzonite et Diorite quartzifères, Granite et Aplite; 8. Dacite et Rhyolite; 9. Dépôts lacustres tertiaires et alluvions. — Échelle de 1 : 600 000.

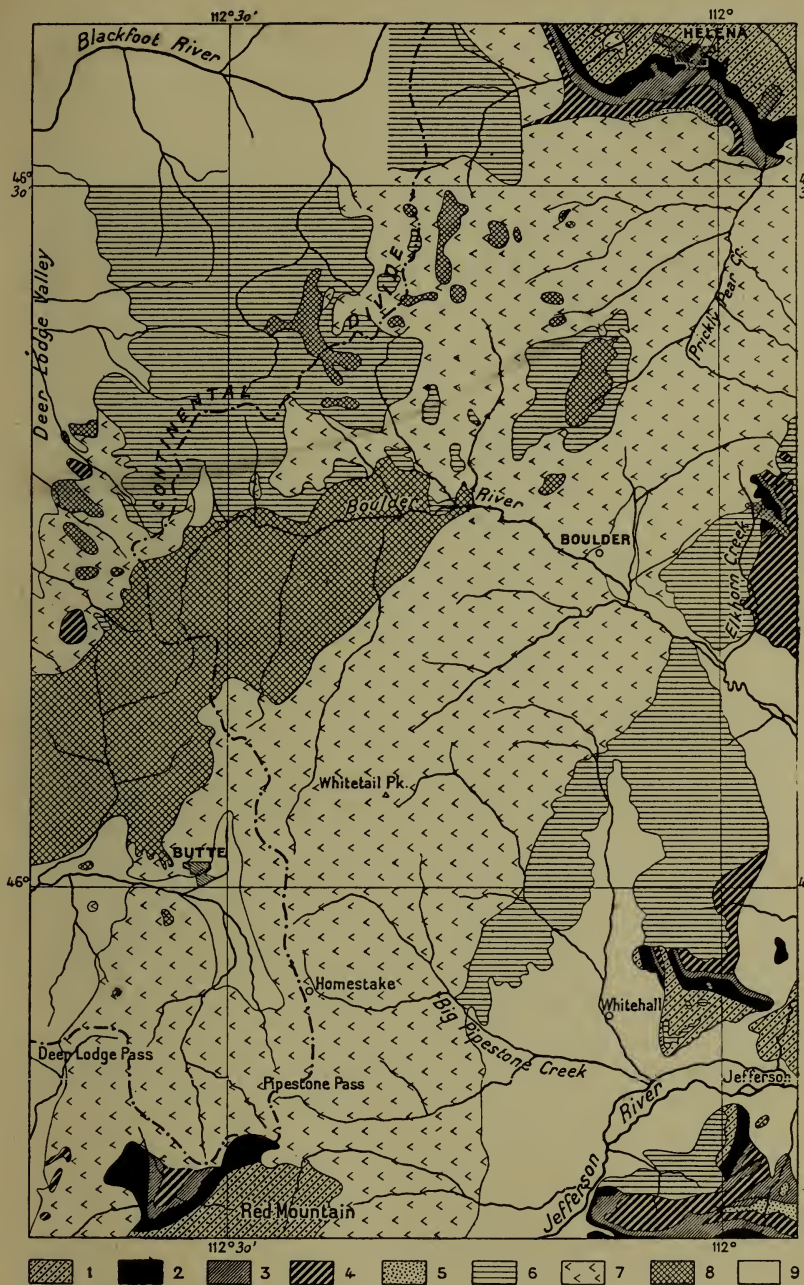


FIG. 354. — Batholithe de Boulder (Montana), d'après W. H. Weed (*U. S. Geol. Survey, Professional Paper* 74, 1912, pl. 1).

peut-être précambriens, s'enfoncent, autant qu'on en peut juger, *sous le granite*, au Nord de Pretoria normalement, puis par des failles étagées[1]. Une large auréole de contact entoure le granite[2]. On atteint d'abord un entourage simique, c'est-à-dire une zone de pyroxénite et de norite[3] avec fer chromé et magnétite[4], contenant aussi des filons de cobalt[5]; ensuite vient une zone de syénite néphélinique[6], puis l'immense territoire du granite rouge (fig. 355).

D'après cette description, il y a lieu d'admettre que le type de Sudbury se reproduit et que la bordure crofésimique est le mur (le dessous) des roches saliques, auxquelles la syénite néphélinique sert de passage.

Dans le granite, les minerais d'étain se présentent avec leur cortège pneumatolytique habituel[7]. Sur le granite reposent des paquets isolés

[1. H. Kynaston, *The Geology of the Country surrounding Pretoria* (An Explanation of Sheet n° 1). In-8°, Pretoria, 1907; H. Kynaston, *The Geology of a portion of the Bushveld North of Pretoria* (An Explanation of Sheet n° 2). Ibid., 1907; W. A. Humphrey, *The Geology of Rustenburg and the surrounding District* (An Explanation of Sheet n° 4). Ibid., 1908.]

[2. Voir les travaux suivants de A. L. Hall : *On Contact Metamorphism in the Pretoria Series of the Lydenburg and Zoutpansberg Districts* (Trans. Geol. Soc. of South Africa, XI, 1908, p. 1-24, pl. I-III, dont 1 carte géol.); *Note on the Schistose Structures near the junction of the Pretoria Series with the Bushveld Plutonic Complex* (Ibid., XII, 1909, p. 8-12); *On Contact Metamorphism in the Western Transvaal* (Ibid., XII, 1909, p. 119-138); *Über die Kontaktmetamorphose an dem Transvaalsystem im östlichen und zentralen Transvaal* (Tschermaks Min.-Petrogr. Mitteil., N. F., XXVIII, 1909, p. 115-152, pl. III-V, dont 1 carte géol.).]

3. H. Kynaston, *On certain Rocks associated with the Norites and Granites of the Central Transvaal* (Trans. Geol. Soc. of South Africa, VIII, 1905, p. 56-62). [Voir aussi J. A. L. Henderson, *Petrographical and Geological Investigations of certain Transvaal Norites, Gabbros, and Pyroxenites and other South African Rocks*. In-8°, 56 p., 5 pl., London, 1898; A. L. Hall and W. A. Humphrey, *On the Occurrence of Chromite Deposits along the Southern and Eastern Margins of the Bushveld Plutonic Complex* (Trans. Geol. Soc. of South Africa, XI, 1908, p. 69-77, pl. V).]

[4. G. A. F. Molengraaff, *On the Deposits of Iron Ore in the Transvaal* (dans l'ouvrage : *The Iron Ore Resources of the World*. Gr. in-8°, Stockholm, 1910, II, p. 1057-1064).]

[5. E. T. Mellor, *Note on the Field Relations of the Transvaal Cobalt Lodes* (Trans. Geol. Soc. of South Africa, X, 1907, p. 36-43).]

[6. G. A. F. Molengraaff, *Notes on our present Knowledge of the Occurrence of Nepheline Syenite and allied Rocks in the Transvaal* (Trans. Geol. Soc. of South Africa, VI, 1903, p. 89-90); et : *Preliminary Note on the Geology of the Pilandsberg and a portion of the Rustenburg District* (Ibid., VIII, 1905, p. 108-109); H. A. Brouwer, *Sur une Syénite néphélinique à Sodalite au Transvaal* (C. R. Acad. Sc., Paris, CXLVIII, 1909, 1re sem., p. 1274-1277); et : *Sur certaines lujaurites du Pilandsberg, Transvaal* (Ibid., CXLIX, 1909, 2e sem., p. 1006-1008); H. A. Brouwer. *Oorsprong en Samenstelling der Transvaalsche Nephelisyeniten*. In-8°, x-180 p., 4 pl. et 2 cartes géol., s'Gravenhage, 1910; W. A. Humphrey, *The Volcanic Rocks of the Pilandsberg* (Trans. Geol. Soc. of South Africa, XV, 1912, p. 100-106, pl. IX : carte géol.),] et : *The Geology of the Pilandsberg* (Union of South Africa, Mines Dept. Annual Report for 1911, Part III, Geol. Survey, p. 75-89, pl. II-VI : phot., et XIV : carte géol.).]

7. H. Merensky, *Neue Zinnerzvorkommen in Transvaal* (Zeitschr. f. prakt. Geol., XII, 1904, p. 409-411); A. L. Hall, *Geological Notes on the Bushveld Tin Fields and Surrounding Area* (Trans. Geol. Soc. of South Africa, VIII, 1905, p. 47-55, pl. IX, X, dont 1 carte géol.). [Voir aussi, sur les minerais d'étain du Transvaal : H. Merensky, *The Rocks belonging to the Area of the Bushveld Granite Complex, in which Tin may bey expected, with Descriptions of the Deposits actually found* (Trans. Geol. Soc. of South Africa, XI, 1908, p. 25-42); R. Recknagel, *On the Origin of the South African Tin Deposits* (Ibid., XII, 1909, p. 168-202); H. Kynaston, E. T. Mellor, and U. P. Swinburne, *The Geology of the Waterberg Tin-fields* (Geol. Survey of the Transvaal, Mem. n° 4). In-4°, p. 1-124, 14 pl. et cartes, Pretoria, 1909.]

de grès du Waterberg, qui constituent un terme inférieur à la série du Karroo; ils sont, dans le Nord, puissants de plus de 1 000 mètres. En d'autres endroits, dans la Springbok Vlakte, s'étend au-dessus du granite, sur environ 3 400 kilomètres carrés, une roche amygdaloïde basique que Molengraaff a voulu considérer comme représentant la phase finale des roches de fusion.

Les gisements de Sudbury, de Boulder et du Boschveld ont été regardés comme des laccolithes. L'étendue des deux derniers est en contradiction avec cette hypothèse. A Sudbury, Coleman a été amené à supposer, en fin de compte, que la bouche d'émission se trouvait au-dessous de la cuvette elle-même. Il faut admettre la même chose pour Boulder, si la diorite (ou monzonite) quartzifère et l'andésite se rattachent l'une à l'autre du point de vue de leur genèse. La présence de l'étain vient appuyer la même conjecture en ce qui concerne le Boschveld.

A ces faits s'ajoute l'importante découverte de Lacroix[1], à savoir qu'à la Montagne Pelée, des roches à quartz libre sont arrivées à cristalliser sous une couverture très mince, même presque à l'air libre[2], et que, par suite, l'épaisseur de l'enveloppe solide, considérée comme nécessaire pour la formation de roches holocristallines quartzifères, avait été considérablement exagérée.

De tous les cas cités, il n'y en a aucun qui ait été influencé par la formation d'une fente de quelque importance. De ce fait que le *nifesima* ou le *crofesima* sont si souvent représentés, il faut conclure que les gaz juvéniles prennent leur origine au-dessous de l'enveloppe salique. S'ouvrant un chemin par la fusion et se frayant un passage de bas en haut grâce à la température, ils s'élèvent. D'ailleurs, une quantité toujours croissante de débris de roches saliques et de sédiments est fondue et absorbée par le magma, rempli de gaz, dans lequel leur poids tend à les faire s'enfoncer. Le magma se rapproche

1. A. Lacroix, *La Montagne Pelée après ses éruptions*. Ouvrage publié par l'Académie des Sciences. In-4°, Paris, 1908, p. 69-73, et ailleurs. [Voir aussi la note du même auteur : *Le mode de formation du Puy-de-Dôme et les roches qui le constituent* (C. R. Acad. Sc., CXLVII, 1908, 2e sem., p. 826-831).]

[2. Le même fait a été constaté autrefois au Mont-Dore, pour le trachyte quartzifère du Puy-Gros, par Aug. Michel-Lévy (*Le Mont-Dore et ses alentours*, Bull. Soc. Géol. de France, 3e sér., XVIII, 1888-1889, p. 808-809).]

LÉGENDE DE LA FIGURE 355.

1. Système primaire sud-africain. — Système du Transvaal : 2. Série du Black Reef; 3. Série des Dolomies; 4. Série de Pretoria. — Série plutonique du Boschveld : 5. Norite, pyroxénite et minerais de fer; 6. Granite rouge; 7. Syénite néphélinique des Pilandsbergen. — Système du Waterberg : 8. Roches porphyroïdes du Zwagershoek; 9. Grès et conglomérats; 10. Amygdaloïdes du Boschveld (âge incertain). — Système du Karroo : 11. Conglomérats de la Dwyka, schistes d'Ecca, formation du Hoogeveld. — Blanc : dépôts superficiels récents. Échelle de 1 : 3 000 000.

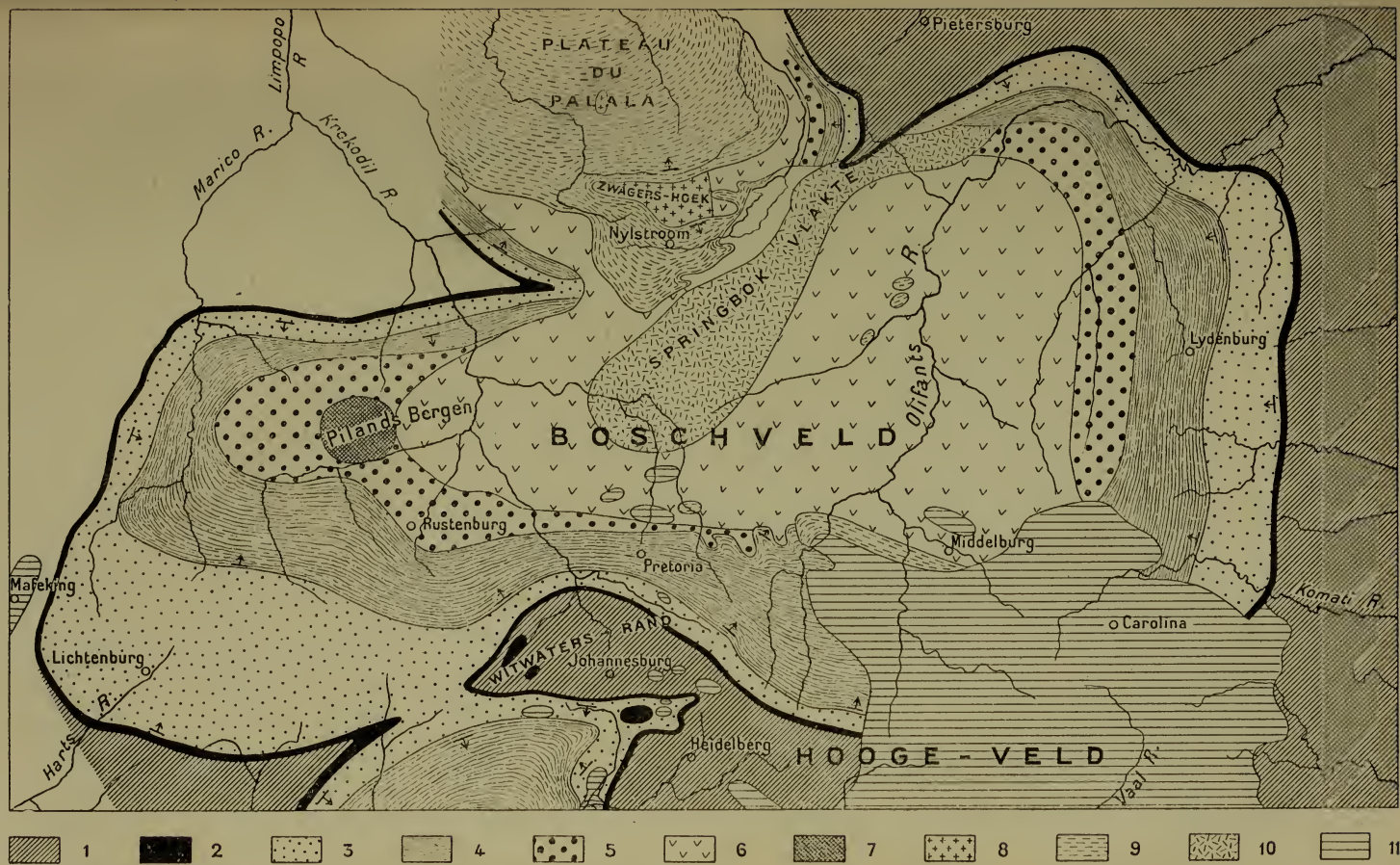


FIG. 355. — Laccolithe granitique du Boschveld (Transvaal), d'après G. A. F. Molengraaff (*Bull. Soc. Géol. de France*, 4e sér., I, 1901, pl. I); corrections d'après H. A. Brouwer, *Oorsprong en Samenstelling der Transvaalsche Nephelinsyeniten*. In-8°, s'Gravenhage, 1910, carte I.

de la surface à l'état d'alliage. Il en résulte des explosions, avec production de poussières, entassement d'un cône et épanchement de laves. L'émission des gaz juvéniles continue. Des éruptions se reproduisent de temps à autre. Une partie de plus en plus étendue de la surface se recouvre de déjections et de laves. L'afflux des gaz se prolonge toujours; ils échauffent et fondent des parties de leur entourage, mais ils ne déterminent plus aucune éruption. Leurs propres déjections, étendues à la base et autour du cône, sont elles-mêmes fondues et se transforment en roches holocristallines, dans lesquelles, à leur base, le *nifesima* se sépare, pendant que les roches saliques plus légères restent en haut. En fin de compte, ce même processus laisse paraître sous les déjections soit un fragment intact, traversé de filons, du toit originel, et ceci paraît être la règle; ou bien ces refusions pénètrent plus haut dans la cheminée (Monts Euganéens), ou même elles se poursuivent à travers tout le cône (Kénia) et sur de vastes surfaces (Boulder). Alors l'émission des gaz chauds se concentre dans la cheminée. Là encore, une liquation le long des parois peut également se produire; mais le chemin originel se perd dans l'axe de la cheminée par suite de la fusion et n'est plus reconnaissable que dans des cas exceptionnels, peut-être grâce à une seconde poussée, comme à Magnet Cove, dans l'Arkansas, où s'élève vers le milieu de la cheminée un dépôt d'origine simique profonde [1].

Ainsi se succèdent l'assimilation et la différenciation. Avec la fin des éruptions, le processus est encore bien loin d'être terminé. Des fentes de retrait par refroidissement se forment et, suivant un ordre de succession déterminé qui rappelle les fumerolles, elles se recouvrent et se remplissent de minerais. L'étain peut parvenir jusqu'aux andésites des Andes de Bolivie [2] et aux rhyolites du Mexique [3]. En même temps se produit la transformation finale de toutes les parties souterraines en un large batholithe.

Il y a quelques années, on pensait que les batholithes saliques sont beaucoup plus fréquents que les batholithes simiques. La connaissance des massifs de charnockite de l'Inde méridionale [4] et des anorthosites

1. H. S. Washington, *Igneous Complex of Magnet Cove, Arkansas* (Bull. Geol. Soc. of America, XI, 1900, p. 389-416, pl. 24 : carte géol.). [Voir aussi la monographie de J. Francis Williams, *The Igneous Rocks of Arkansas* (Annual Report of the Geol. Survey of Arkansas for 1890, vol. II, p. 163-343, fig. 9-40, pl. 12-22, Map IV). In-8°, Little Rock, 1891.]

[2. Voir, III, 3e partie, p. 1313.]

[3. III, 3e partie, p. 1241-1243.]

[4. Voir Th. H. Holland, *The Charnockite Series, a Group of Archaean Hypersthenic Rocks in Peninsular India* (Mem. Geol. Survey of India, XXVIII, part 2, 1900, p. 119-249 et 1-10, pl. VII-XV). Ces roches, analogues aux granulites et aux gneiss à pyroxène d'Europe, ont pour type un granite à hypersthène (*Charnockite*) dédié à Job Charnock, le fondateur de Calcutta, dont le tombeau (1695) est recouvert d'une dalle de cette nature.]

du Canada[1] modifie cette impression générale. Les masses saliques elles-mêmes s'entourent ordinairement d'une zone de ségrégation simique, venue, avec le magma, de la profondeur[2]. Les dernières poussées secondaires paraissent être en général saliques, et souvent même très riches en silice.

Injection passive. — Il existe des fissures filoniennes qui ont été remplies de bas en haut, non par des roches fondues, mais par des grès et qui prouvent que, dans les phénomènes souterrains, la pression hydrostatique ne doit pas être négligée.

Dans les couches du Witteberg d'Elands Vley, à peu de distance en dehors du domaine des filons de dolérite sud-africains, apparaît, d'après Rogers et Du Toit, un filon s'élevant presque verticalement entre des parois parallèles; large seulement de 2,4 à 2,5 mètres, et long de 11 kilomètres suivant une évaluation, de plus de 57 suivant une autre, avec un léger redressement des couches encaissantes, ce filon se montre injecté non de dolérite, mais de grès[3].

De nombreux cas analogues ont été signalés aux États-Unis. Là aussi, la poussée a le plus souvent suffi pour occasionner un redressement des salbandes vers le haut et pour entraîner des morceaux arrachés à la partie inférieure[4].

Une certaine pression des gaz paraît être intervenue dans les filons bitumineux; les phénomènes n'en sont pas moins analogues. On con-

[1. Un exposé très complet des connaissances acquises sur la mise en place des anorthosites du Canada et de quelques autres régions est donné par R. A. Daly, dans son ouvrage : *Igneous Rocks and their Origin*. In-8°, New York and London, 1914, p. 321-338, fig. 149-157.]

2. « True batholiths of gabbro are uncommon, perhaps because batholithic intrusion is always dependent on assimilation. » (R. A. Daly, *The Differentiation of a Secondary Magma through Gravitative Adjustment*; Festschrift zum 70. Geburtstage von H. Rosenbusch. In-8°, Stuttgart, 1906, p. 203-233; voir p. 233); du même, *The Geology of Ascutney Mountain, Vermont* (U. S. Geol. Survey, Bull. n° 209, 1903, p. 110 et suiv.). On ne peut nier que, dans cette zone, des remaniements postérieurs se sont également produits par dissolution; la garniérite de la Nouvelle-Calédonie en est un exemple, et H. B. v. Foullon en indique d'autres : *Ueber einige Nickelerzvorkommen* (Jahrb. k. k. Geol. Reichsanst., XLII, 1892, p. 223-310, pl. VI). D'après R. Beck, ils semblent même se présenter pour le platine.

3. A. W. Rogers and A. L. Du Toit, *Geological Survey of Parts of the Divisions of Ceres. Sutherland, and Calvinia* (Cape of Good Hope, Geol. Commission, Ann. Rept., 1903 [1904], p. 17).

4. Exemples de filons de ce genre dans J. F. Newsom, *Clastic Dikes* (Bull. Geol. Soc. of America, XIV, 1903, p. 227-268), 19 fig., pl. 21-31). [Autres exemples dans : Cte de Montessus de Ballore, *La Science séismologique* (*Les Tremblements de Terre*). In-8°, Paris, 1907, p. 417-419, fig. 149-150. Voir aussi A. Gavelin, *Om underkambriska Sandstensgångar vid västra stranden af Vänern* (Sveriges Geol. Und., Arsbok 1908, n° 9, p. 1-17, fig. 1-3 : cartes); V. Tanner, *Über eine Gangformation von fossilienführendem Sandstein auf der Halbinsel Långbergsoda-Öjen im Kirchspiel Saltvik, Ålands-Inseln* (Bull. Commission Géol. de Finlande, n° 25, 1911, p. 1-13, fig. 1-15, pl. I, II). — Pour le remplissage des fissures produites dans le sol par les tremblements de terre, voir la remarquable étude de Myron L. Fuller, *The New Madrid Earthquake* (U. S. Geol. Survey, Bull. 494, 1912, p. 47-58 et 76-87, pl. III).]

naît dans l'*Utah*, d'après Eldridge, sur une longueur de 11 kilomètres à travers le désert, un filon de bitume, la veine Culmer, dont la puissance varie de 30 pouces à l'épaisseur d'une lame de couteau; l'allure de ce filon rectiligne, que limitent des parois latérales lisses, est tout à fait indépendante de la direction des roches recoupées. Il est accompagné d'autres filons analogues[1].

Le rôle possible de la pression des gaz donne à ces filons une situation intermédiaire relativement aux injections qui, du moins d'après l'opinion des observateurs, ont été amenées par la pression hydrostatique dans leur emplacement actuel, et qui sont en même temps accompagnées de minéraux de contact. Tels sont, d'après Posepny, les filons de Rézbanya dans le Sud-Est de la Hongrie (I, p. 207); Salomon attribue la montée de la masse tonalitique de l'Adamello à l'affaissement de la plaine lombarde, et Brögger serait disposé à expliquer de la même manière l'extrusion du granite de Drammen, sur les bords du fjord de Kristiania[2].

Le mouvement passif se dessine déjà nettement par la grande rareté ou l'absence des minéraux de contact dans les boursoufflures localisées des filons-lits que Gilbert a appelées *laccolithes* (I, p. 192). Il faut revenir encore une fois sur ces accidents; car une acception beaucoup trop étendue a été souvent donnée à ce terme, et des formations de ce genre ont même été envisagées comme des éléments actifs dans la surrection des chaînes de montagnes.

Daly en a rassemblé les définitions, et il ne peut rester aucun doute sur la signification du mot *laccolithe*. « Le premier pas pour sa formation, dit Gilbert, est l'intrusion d'une mince couche de lave le long d'un joint de stratification, qui s'étale d'après le principe de la presse hydraulique, jusqu'à ce que son aire corresponde à la déformation limite des couches recouvrantes... Dès que la lave est en état de soulever les couches, elle le fait, et le filon-lit devient un laccolithe[3]. »

1. G. H. Eldridge, *The Asphalt and Bituminous Rock Deposits of the United States* (22d Ann. Rept. U. S. Geol. Survey, 1900-1901, part 1, p. 209-452; en particulier p. 343 et pl. XL-XLIII : cartes).

2. W. Salomon, *Über neue geologische Aufnahmen in der östlichen Hälfte der Adamellogruppe* (Sitzungsber. K. Akad. Wiss. Berlin, 1901, p. 729-747): W. C. Brögger. *Die Eruptivgesteine des Kristianiagebietes*, II. Gr. in-8°, Kristiania, 1895, p. 116-153.

3. R. A. Daly, *The Classification of Igneous Intrusive Bodies* (Journ. of Geol., Chicago, XIII, 1905, p. 485-508, fig. 1-9, pl. V; en particulier p. 493). [Un grand nombre de faits nouveaux relatifs aux laccolithes ont été rassemblés par R. A. Daly, dans son ouvrage : *Igneous Rocks and their Origin*. In-8°, New York and London, 1914 (voir, en particulier, chap. V : « Injected Bodies », p. 61-82, fig. 1-36). Voir aussi le mémoire du même savant, intitulé : *Sills and Laccoliths illustrating Petrogenesis* (Congrès Géol. Internat., XIIe Session, Canada, 1913, C. R., p. 189-204). — Consulter, en outre : M. Stark, *Formen und Genese lakkolithischer Intrusionen* (Festschr. d. Naturwiss. Vereins a. d. Univ. Wien, Nov. 1907, p. 51-66), et *Beiträge zum geologisch-petrographischen Aufbau der Euganeen und zur Lakkolithenfrage* (Tschermak's Min.-Petrogr. Mitteil., N. F., XXXI, 1912, p. 1-80, 9 fig., pl. 1 : carte géol.).]

Un trait caractéristique est que le laccolithe soulève bien son toit, mais qu'il laisse sans changement son mur (fig. 356). Tout au plus, probablement sous l'influence du poids, ce dernier peut-il devenir légèrement concave, et alors la section est lenticulaire. De là résulte qu'un laccolithe peut bien engendrer un gonflement local, mais jamais une chaîne de montagnes.

Whitman Cross a relaté des détails instructifs du Colorado, de l'Utah et de l'Arizona; tels sont : le recoupement des limites de couches sous un angle aigü, qui se présente quelquefois, puis l'influence probablement favorable de certains phénomènes tectoniques, là par exemple

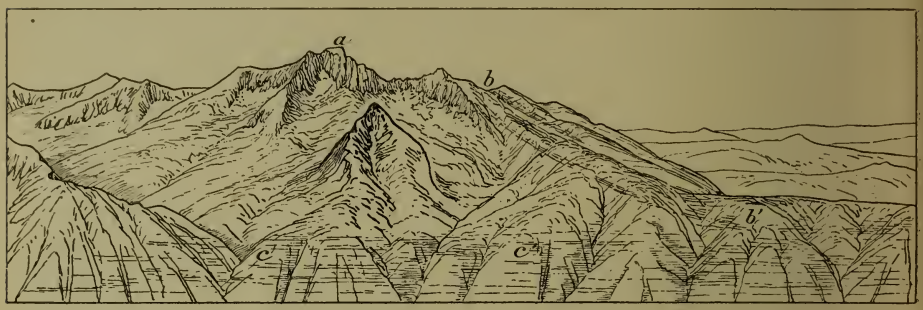


Fig. 356. — Vue d'un laccolithe des West Elk Mountains (Colorado), d'après W. H. Holmes (*Ann. Rept. U. S. Geol. and Geogr. Survey of the Territories for 1874*, p. 64, fig. 5).

a, Station 13 [Terrace Mountain], Rhyolite intrusive, formant coin entre les couches crétacées de la base (*c*, c^1) et des versants voisins du sommet (*b*, b^1).

où les couches sont en train de se plisser, l'identité de nature des roches de tous les laccolithes, l'absence de vacuoles et de minéraux de contact, etc. [1].

Weed, sur la périphérie septentrionale des Little Belt Mountains, n'a pas décrit moins de quinze de ces lentilles; chacune d'entre elles se termine brusquement dans la direction de la plaine [2].

1. Whitman Cross, *The Laccolitic Mountain Groups of Colorado, Utah, and Arizona* (14th Ann. Rept. U. S. Geol. Survey, 1892-93, part 2, p. 157-241, fig. 26-43, pl. VII-XVI, dont 1 carte géol.). Pour le mode de contact dans les laccolithes, voir A. Michel-Lévy, *Sur quelques particularités de gisement du Porphyre bleu de l'Esterel. Application aux récentes théories sur les racines granitiques et sur la différenciation des magmas éruptifs* (Soc. Geol. de France, 3e ser., XXIV, 1896, p. 123-139).

[2. W. H. Weed, *Geology of the Little Belt Mountains, Montana* (U. S. Geol. Survey, 20th Ann. Rept., 1898-99, part 3, p. 394, et fig. 47, p. 388 [reprod. dans le présent ouvrage, III, 3e partie, p. 1161, fig. 264). — Pour d'autres études récentes sur divers groupes de laccolithes de l'Ouest Américain, voir W. H. Weed and L. V. Pirsson, *The Geology of the Little Rocky Mountains* (Journ. of Geol., IV, 1896, p. 399-428, 3 fig. dont 2 cartes); *Geology and Mineral Resources of the Judith Mountains of Montana* (U. S. Geol. Survey, 18th Ann. Rept., 1896-97, part 3, p. 437-616, fig. 32-54, pl. LXIX-LXXXVI); *Geology of the Shonkin Sag and Palisade Butte Laccoliths in the Highwood Mountains of Montana* (Amer. Journ. of. Sc., 4th ser., XII, 1901, p. 1-17, 10 fig.); L. V. Pirsson, *Petrography and Geology of the Igneous Rocks of the Highwood Mountains, Montana* (U. S. Geol. Survey, Bull. 237, 1905, 208 p., 8 fig., 8 pl. dont

Cette extrusion latérale d'un magma dont la température devait être relativement peu élevée est un des exemples les plus nets de la manière dont se comportent les masses fondues au cours des phénomènes tectoniques[1].

La force soulevante des laccolithes américains a été plus d'une fois évaluée beaucoup trop haut dans certaines coupes idéales, parce que l'on a exagéré, comme nous l'avons déjà vu, la charge qui est nécessaire pour la formation des roches holocristallines[2].

Les Roches vertes. — Sous ce nom, qui correspond aux *pietre verdi* des géologues italiens, on a rangé ici les filons-lits nifé- et crofé-simiques, qui sont intercalés dans les couches plissées d'un grand nombre de chaînes de montagnes et dont l'aire de répartition est extrêmement vaste. Ces roches ne forment jamais l'axe d'une chaîne, et il n'y a guère d'exemple où l'on puisse désigner avec quelque fondement un batholithe simique comme leur point de départ probable. Elles apparaissent à l'état d'intercalations dans l'Édifice Calédonien, dans les Altaïdes anté-permiennes et dans des chaînes plus récentes; et leur injection a certainement continué, en certains endroits, jusqu'au milieu de l'époque tertiaire. Elles sont associées très souvent au nickel et au chrome, et, sur un grand nombre de points également, au platine, à l'or, à l'awaruite et à tout le cortège des fumerolles abyssiques.

2 cartes); — T. A. Jaggar, jr., *The Laccoliths of the Black Hills* (U. S. Geol. Survey, 21st. Ann. Rept., 1899-1900, part 3, p. 163-303, fig. 60-102, pl. XVIII-XLVII, dont 6 pl. cartes); J. D. Irving, *Economic Resources of the Northern Black Hills, with Contributions by* S. F. Emmons *and* T. A. Jaggar, jr. In-4°, 222 p., 16 fig., 20 pl. dont 3 cartes géol. Washington, 1904 (U. S. Geol. Survey, Professional Paper No. 26); N. H. Darton, *Geology and Water Resources of the Northern Portion of the Black Hills and adjoining Regions of South Dakota and Wyoming*. In-4°, Washington, 1909, p. 66-73, fig. 2-9, pl. I, IV, XV-XVIII (Id., Professional Paper 65).]

[1. Des dispositions tout à fait analogues à celles qui sont réalisées dans les laccolithes nord-américains ont été signalées, en ces dernières années, dans les régions les plus diverses, notamment : dans les Hébrides (A. Harker, *The Tertiary Igneous Rocks of Skye*, Mem. Geol. Survey of the United Kingdom. In-8°, Glasgow, 1904, p. 63, 85, 128, etc.); au Nord du Caucase (Vera de Derwies, *Recherches géologiques et pétrographiques sur les laccolithes des environs de Piatigorsk*. In-4°, 84 p., 3 pl. dont 1 carte géol., Genève, 1905); au Mexique (E. Philippi, *Ueber junge Intrusionen in Mexiko und ihre Beziehungen zur Tektonik der durchbrochenen Schichtgesteine nach den Forschungen von* E. Böse *und* C. Burckhardt (Centralbl. f. Min., 1907, p. 449-460, 6 fig.); E. Böse, *Monografia geologica y paleontologica del Cerro de Muleros cerca de Ciudad Juarez, Estado de Chihuahua* (Bol. Ist. Geol. de Mexico, n° 25. In-4°, texte et atlas, avec 1 carte géol. et 1 pl. de coupes, 1910); autres mémoires de C. Burckhardt et A. Bergeat, énumérés ci-dessus, III, 3e partie, p. 1248, et fig. 283-285); dans les Andes de Patagonie (R. Hauthal, P. D. Quensel; ci-dessus, III, 3e partie, p. 1337, 1338, et cartes, fig. 303, 305; voir surtout P. D. Quensel, *Geologisch-petrographische Studien in der patagonischen Cordillera* (Bull. Geol. Inst. Univ. of Upsala, XI, 1910, p. 31-33 et 36-69, fig. 1-10, pl. I-III : phot.); et enfin dans l'Afrique Australe (A. W. Rogers and A. L. Du Toit, *An Introduction to the Geology of Cape Colony*, 2d ed., in-8°, London, 1909, p. 259; E. H. L. Schwarz, *The Quizzyhota Laccolite* (Journ. of Geol., Chicago, XXI, 1913, p. 68-95, 7 fig. phot.).]

2. A. Lacroix, *La Montagne Pelée après ses éruptions*. In-4°, Paris, 1908, p. 69-73.

Dans les Pyrénées, Lacroix distingue les lherzolites (péridotites avec diopside, bronzite et spinelle) des ophites (diabases labradoriques ou diabases andésitiques). Dans certains cas, assez rares, elles sont accompagnées de filons-lits saliques. Griesbach décrit, dans les escarpements calcaires crétacés de l'Afghanistan, des injections saliques et simiques[1]. J. H. L. Vogt signale, au Nord de la Norvège, la longueur extraordinaire des filons-lits contemporains du plissement. Là, ils se composent de gabbros, et aussi d'un granite de teinte claire et de termes de passage, comme l'adamellite, etc. Les granites sont en général froissés, tandis que certaines venues de gabbros ne le sont pas[2].

Les roches vertes montrent, sinon toujours, du moins quelquefois, des contacts volcaniques; ainsi, les serpentines mésozoïques des Carpathes de Roumanie sont accompagnées de cornes et contiennent des inclusions de grenat et d'idocrase (III, 2e partie, p. 562)[3].

Elles se distinguent nettement des sorties basaltiques ordinaires. Sur le bord externe de la Chaîne du Taurus, dans les Montagnes des Kurdes et jusqu'à Antioche, apparaissent des roches vertes post-crétacées, principalement du gabbro à olivine et de la serpentine. Elles se retrouvent dans l'Ile de Chypre, correspondant au bord externe du même système. En même temps, les cassures africaines se prolongent vers le Nord, dans l'avant-pays de la Mer Morte; celles-ci sont accompagnées de basaltes, et l'on a établi qu'elles s'avancent jusqu'au voisinage de Marach, loin à l'intérieur de la région montagneuse plissée (III, 3e partie, p. 982).

Dans les chaînons externes des systèmes de montagnes plissés récents, les roches vertes apparaissent en longues traînées, comme

[1. C. L. Griesbach, *Report on the Geology of the Section between the Bolan Pass in Biluchistan and Girishk in Southern Afghanistan* (Mem. Geol. Survey of India, XVIII, part 1, 1881, p. 42, 44 et 47-55, pl. I : carte géol., et pl. VII, VIII et XI : vues).]

2. J. H. L. Vogt, *Söndre Helgeland* (Norges Geol. Unders., n° 29, 1900, 180 p., 1 pl. carte; notamment p. 3 (note) et 159); C. F. Kolderup, *Die Labradorfelse des westlichen Norwegens*, II (Bergens Mus. Aarbog, n° 12, 1903, 129 p., 3 pl. dont 1 carte géol.; en particulier p. 92, 126), et ailleurs. Un exposé très instructif de ces questions se trouve dans le mémoire de Hj. Sjögren sur le Sulitelma : *Om Sulitelma-områdets bergarter och tektonik* (Geol. Fören. i Stockholm Förhandl., XVIII, 1896, p. 346-376), et dans P. J. Holmquist, *En geologisk profil öfrer fjellområdena emellan Kvikkjok och norska Kusten* (Ibid., XXII, 1900, p. 72-104, 151-177, 233-272, pl. 3 : carte géol.). [Sur les roches vertes de la Chaîne Scandinave, voir aussi : P. J. Holmquist, *Die Hochgebirgsbildungen am Torneträsk in Lappland* (XIe Congrès Géol. Internat., Stockholm, 1910; Livret-guide des Excursions en Suède, n° 6, p. 40-42, pl. I : carte géol.); A. Hamberg, *Gesteine und Tektonik des Sarekgebirges nebst einem Überblick der Skandinavischen Gebirgskette* (Ibid., n° 9, 44 p., pl. I : carte géol.; particulièrement p. 23-29) : W. von Seidlitz, *Das Sarekgebirge in Schwedisch Lappland. Bericht über die Hochgebirgsexkursion des Stockholmer Geologen-Kongresses* (Geol. Rundschau, Leipzig, II, 1911, p. 25-37, 1 carte géol. dans le texte, pl. I-IV : phot.).]

3. L. Mrazec, *Sur les schistes cristallins des Carpathes méridionales* (IXe Congrès Géol. Internat., C. R., IXe sess., Vienne, 1903, p. 631-648, carte géol. et coupes; en particulier p. 638, 639).

cela se voit en particulier dans l'Arc Birman; à ce type de gisement appartiennent les traînées de serpentine de l'Arrakan. Les serpentines du Guatemala et de Cuba, ainsi que beaucoup d'autres exemples, pourraient être également cités.

Très souvent, elles se présentent associées à des roches à Radiolaires, comme dans une partie des nappes lépontiennes des Alpes et dans les Piénines, et surtout dans les Coast Ranges de Californie; Ransome estime que la glaucophane se forme volontiers dans cette association[1].

Ces roches vertes ne débordent jamais sur l'avant-pays. Dans la partie orientale des Appalaches (Piedmont), une puissante zone de gabbro et de serpentine se poursuit de l'État de New York jusqu'à la Virginie. Loin dans l'Ouest, en dehors des Appalaches, apparaissent, il est vrai, très éloignés les uns des autres, quelques filons simiques isolés très remarquables; mais ceux-ci sont, autant que leur âge est connu, plus jeunes que les Appalaches et rappellent beaucoup plutôt, dans certains cas, les gîtes diamantifères de l'Afrique Australe[2].

Dans un mémoire très instructif, G. Steinmann a mis ces roches

1. F. L. Ransome, *The Geology of Angel Island; with a Note on Radiolarian Chert from Angel Island and from Buri-Burdge, San Mateo County, Cal.*, by G. J. Hinde (Univ. of California, Bull. Dept. of Geol., I, 1894, n° 7, p. 193-240, pl. 12-14, dont 1 carte géol.). La stratification des roches à Radiolaires est ordinairement d'une telle régularité, que A. C. Lawson et C. Palache admettent un rhytme (*The Berkeley Hills. A Detail of Coast Range Geology*; Ibid., II, n° 12, 1902, p. 349-450, pl. 10-17, dont 1 carte géol.; voir p. 354 et suiv.). Un aperçu des gisements appartenant à la périphérie de l'Édifice Asiatique est donné par F. Sacco, *Les formations ophitifères du Crétacé* (Bull. Soc. Belge de Géol., Bruxelles, XIX, 1905, Mém., p. 247-266, pl. VIII). [Pour d'autres exemples de roches contenant des Radiolaires, voir G. A. F. Molengraaff, *On Oceanic deep-sea deposits of Central-Borneo* (Proc. Royal Acad. Sc. Amsterdam, XII, 1909, p. 141-147, 1 carte); et *On the occurrence of nodules of Manganese in Mesozoic Deep-Sea Deposits from Borneo, Timor, and Rotti, their significance and mode of formation* (Ibid., XVIII, 1915, p. 415-430, pl. I).]

2. J. S. Diller (*Peridotite of Elliott County, Kentucky*; U. S. Geol. Survey, Bull. n° 38, 1887, 31 p., 8 fig., 1 pl. carte) a déjà reconnu (p. 23) les affinités avec l'Afrique Australe; Kemp et Ross indiquent les gisements suivants : 1° trois filons de basalte à mélilite et de serpentine, dont l'un près de Syracuse, un second très loin à l'Est de cette ville et un troisième à 80 kilomètres au Sud-Ouest; 2° dans le Sud-Ouest de la Pennsylvanie, à 320 kilomètres de la dernière localité, deux filons juxtaposés de péridotite, avec pyrope et ilménite, rappelant les gîtes diamantifères; 3° à 440 kilomètres à l'Ouest du groupe précédent, un puissant filon de péridotite micacée; et 4°, à 480 kilomètres au Sud-Ouest du troisième, dans le Comté de Pike (Arkansas), un autre filon du même genre, qui paraît être plus récent que le terrain crétacé. Les dykes du second groupe transforment la houille en coke sur 50 pieds de large et sont postérieurs à l'époque permienne; J. F. Kemp and J. G. Ross, *A Peridotite dike in the Coal Measures of Southwestern Pennsylvania* (Annals New York Acad. of Sc., XVII, 1907, p. 509-518, 2 fig. cartes). [L'analogie de ces dykes avec les gîtes de l'Afrique Australe se trouve confirmée par la récente découverte du diamant dans les filons de péridotite de l'Arkansas, dont le remplissage date du milieu de la période crétacée; A. H. Purdue, *A new discovery of Peridotite in Arkansas* (Economic Geology, III, 1908, p. 525-528); D. B. Sterrett, *Mineral Resources of the United States, Calendar Year 1912*, Part II, Nonmetals. in-8°, Washington, U. S. Geol. Survey, 1913, p. 1037-1039.]

vertes en rapport avec les formations de mer profonde; il admet que « dans les grands fonds de mer, s'accumulent des masses magmatiques d'une extrême basicité », tandis que sous les socles continentaux s'élèvent des magmas plus acides[1].

Cette manière de voir est fondée sur de nombreux cas d'association de roches à Radiolaires avec ces roches vertes.

Tous ces exemples sont bien authentiques. En fait, des roches simiques lourdes sortent fréquemment du fond des mers. Des basaltes se trouvent vraisemblablement sous une partie de l'Océan Atlantique Nord, et du gabbro apparaît à l'Est de l'Islande[2]. L'Ile Saint-Paul, au milieu de l'Océan Atlantique (0° 58′ de lat. N., 29° 15′ de long. W.) est constituée par une péridotite dont la densité est de 3,287, avec des rubanements foncés formés d'un mélange de nodules d'olivine et de fer chromé[3]. Les Iles Hawaïï sont formées de roches simiques lourdes, et nulle part le développement des roches vertes ne paraît être plus important qu'en Nouvelle-Calédonie et en Nouvelle-Zélande.

Aussi, dans la plupart des cas cités, convient-il d'admettre que les Radiolaires indiquent réellement des dépôts de mer profonde. Ce qui a été dit sur les avant-fosses des Antilles Tropicales et sur les roches à Radiolaires de la Barbade est tout à fait d'accord avec cette théorie. On peut ajouter pour les Alpes, par exemple dans les coupes du Sonnwend-Gebirge données par Wähner, leur association à des calcaires à *Aptychus*, et le fait que la base calcaire des dents de Squales a été dissoute et a disparu. Il en résulte d'ailleurs que la Téthys, en beaucoup d'endroits des Alpes actuelles et jusque dans la région des racines des nappes lépontiennes, a atteint une profondeur qui ne devait guère être inférieure à 4 000 mètres.

Mais quand les terrains plissés ne se sont pas formés dans des mers profondes, ces roches vertes n'en apparaissent cependant pas moins. Ceci est particulièrement frappant pour les Pyrénées, dans la partie occidentale desquelles, au Nord de la plaine de Mauléon, le relief extérieur a complètement perdu l'apparence d'une région montagneuse. Le Trias y est représenté seulement par du gypse; toute la série est très incomplète et d'une faible puissance, mais néanmoins

1. G. Steinmann, *Geologische Beobachtungen in den Alpen, II*; *Die Schardtsche Ueberfaltungstheorie und die geologische Bedeutung der Tiefseeabsätze und der ophiolithischen Massengesteine* (Berichte Naturforsch. Gesellsch. Freiburg i. B., XVI, 1905, p. 44-66).

2. Th. Thoroddsen, *Island : Grundriss der Geographie und Geologie* (Petermanns Mittheil., Erg.-Heft, n° 153, 1906, p. 264-265).

3. A. Renard, *Report on the Petrology of the Rocks of St. Paul* (Report on the Scientific Results of the Voyage of H. M. S. Challenger, Narrative, vol. II, 1882). In-4°, 29 p., 1 pl. La roche est comparée tout d'abord à la péridotite de l'Ultenthal (Tyrol).

disloquée et accompagnée d'ophite jusque vers Dax (III, 2e partie, p. 912). Là, les roches vertes sont liées à des dislocations, mais non pas à des mers profondes.

Les roches vertes, dans les régions disloquées, se montrent sous forme de filons-lits, qui suivent tantôt les joints de stratification et tantôt les surfaces de charriage[1]. Ce dernier cas se présente, par exemple, dans la fenêtre du Paring et dans celle de l'Inn; toutefois il est possible, dans la seconde, que ces roches aient été amenées à l'état d'injection déjà consolidée. Ce doute ne subsiste pas pour la grande surface de charriage suivant laquelle les lambeaux tibétains ont été transportés sur une partie de l'Himalaya; cette surface mérite pour cette raison un examen plus approfondi.

A plusieurs reprises, dans cet ouvrage, nous avons mentionné la chaîne, formée de couches éocènes, qui s'étend sur 300 kilomètres de long, et dont la largeur arrive par endroits à 30 kilomètres, dans le Stok, au Sud de Leh; elle atteint 6 400 mètres d'altitude et accompagne le cours supérieur de l'Indus.

Les couches tertiaires, d'après Lydekker, s'adossent directement au N.E., et souvent avec une inclinaison très faible, contre les gneiss et la syénite du Ladakh. Le flanc Sud-Ouest est accompagné, à chacune de ses extrémités, de deux longues traînées de roches simiques atteignant jusqu'à 16 kilomètres de largeur. Sédiments tertiaires et roches simiques butent par faille, vers le S.W., contre le Carbonifère et le gneiss de la chaîne du Zanskar.

Des basaltes et des cendres apparaissent et indiquent des éruptions; McMahon signale dans la vallée de Puga, au Nord du Lac Tsomoriri, des péridotites holocristallines, des gabbros et des serpentines. Ces roches forment une partie de la zone éruptive et s'y retrouvent également dans le Sud-Est, près de Hanle (Rupshu), et dans la vallée de la Markha, au Sud de Leh[2].

Transportons-nous maintenant à 300 kilomètres plus au S.E., dans la direction de la chaîne, et considérons la carte, due à Griesbach, de la ligne de partage des eaux entre l'Indus et le Satledj, ainsi que celle de von Krafft, qui représente les hauteurs de Balchdura et de Kiogarh, voisines de cette ligne de partage; sur cette dernière carte, les résultats

1. Ed. Suess, *Sur la nature des charriages* (C. R. Acad. Sc., Paris, CXXXIX, 1904, 2e sem., p. 714-716).

2. R. Lydekker, *The Geology of the Káshmir and Chamba Territories, and the British District of Khágán* (Mem. Geol. Survey of India, XXII, 1883, p. 99-121); C. A. McMahon, *Petrological Notes on Some Peridotites, Serpentines, Gabbros, and Associated Rocks, from Ladakh, North-western Himalaya* (Ibid., XXXI, part 3, 1901, p. 303-329, pl. 17-18). [Ces roches éruptives diverses ont été retrouvées plus au Nord, dans le Tibet, par l'explorateur Sven Hedin (voir ci-dessus, p. 1413-1414, note).]

de Griesbach et de Diener ont été également utilisés[1] (III, 1re partie, p. 364, fig. 57).

L'observateur qui, venant du Sud-Ouest, se rapproche de cette ligne de partage des eaux, voit devant lui le grand front des couches tourné vers le Sud du Silakank (I, p. 571, fig. 85), qui montre toute la série des terrains du Spiti, depuis le Silurien jusqu'au Flysch crétacé

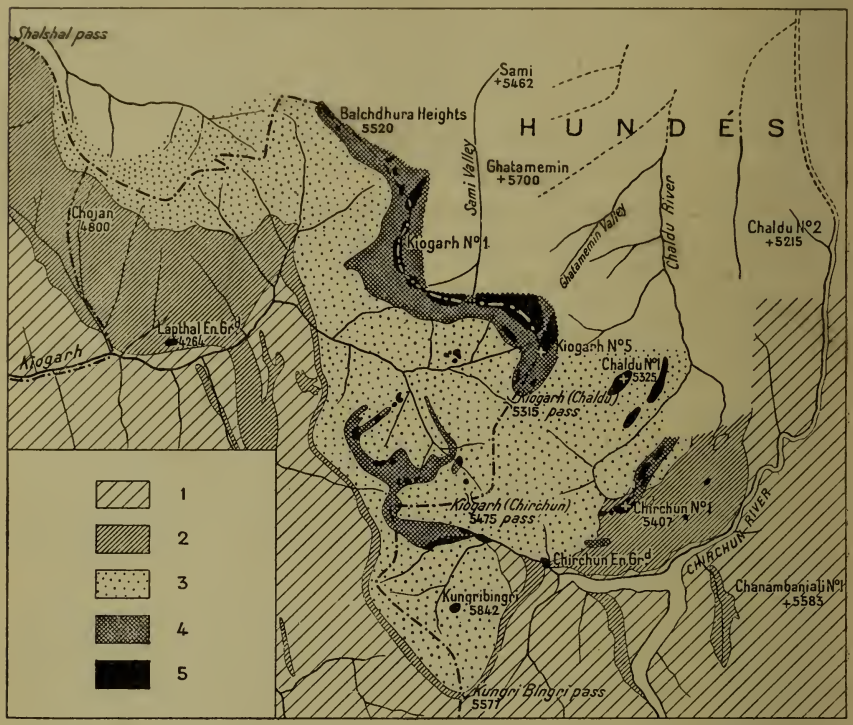


Fig. 357. — Laves et blocs exotiques de Malla Johar (Himalaya), d'après A. von Krafft (*Mem. Geol. Survey of India*, XXXII, pt. 2, 1902, pl. 14).

1. Calcaires (du Trias supérieur au Jurassique moyen); 2. *Spiti Shales* (Jurassique supérieur); 3. Flysch; 4. Roches éruptives basiques; 5. Blocs exotiques (calcaires blancs et rouges, dolomies, etc. : Permocarbonifère, Trias, Lias inférieur, etc.).
Échelle de 1 : 250 000. Hauteurs en mètres.

(grès de Gieumal). Cette série, puissante de quelques milliers de mètres, forme le soubassement du haut pays de Hundés.

Griesbach, en entrant dans le Hundés par le Col de Niti (tout près du Silakank, au Nord), trouva, outre du Flysch à Inocérames, une roche métamorphique contenant des Nummulites, qu'il identifia avec la zone

1. C. L. Griesbach, *Geology of the Central Himálayas* (Mem. Geol. Survey of India, XXIII, 1891, XI-232-XIX p., 27 pl., 2 cartes géol.); A. von Krafft, *Notes on the « Exotic Blocks » of Malla Johar in the Bhot Mahals of Kumaon* (Ibid., XXXII, part 3, 1902, p. 127-183, pl. 1-14, dont 1 carte géol.).

éocène déjà mentionnée du haut Indus. Le Hundés est recouvert par des dépôts tertiaires, dans lesquels le Satledj a creusé son lit[1]. Plus loin vers le Sud-Est, au Col de Balchdura, il atteignit des roches éruptives basiques, qu'il attribua immédiatement à la grande masse des roches semblables que Strachey a signalées au Lac Manasarowar et qui passent pour être le prolongement de la bande du haut Indus[2].

Le Col de Balchdura est un des points où les lambeaux exotiques du Tibet reposent sur le Flysch et sur la série de l'Himalaya (fig. 357). Diener a démontré l'analogie singulière de leur faciès avec celui de certains étages du Trias et du Lias dans les Alpes Orientales[3].

Von Krafft a établi que là, les roches éruptives, entre-

FIG. 358. — Coupe du versant Nord de la vallée de Kiogarh (Himalaya), d'après A. von Krafft (*Mem. Geol. Survey of India*, XXXII, pt. 2, 1902, pl. 12, Section 2).

1. Calcaires gris (du Rhétien au Jurassique moyen); 2. *Spiti Shales* (Jurassique supérieur); 3. Grès de Giounal (Crétacé); 4. Flysch (d°); 4 *a*. Schistes rouges et verdâtres; 4 *b*. Schistes noirs friables; 4 *c*. Grès bruns; 4 *d*. Schistes siliceux noirs; 4 *e*. Grès verdâtres; 4 *f*. Tufs rouges et verts; 5. Roches éruptives basiques. D. Calcaires dolomitique gris (*Dachsteinkalk*). — Échelle de 1 : 15 000 environ.

1. C. L. Griesbach, mém. cité, p. 83, 130, 155.

2. Voir R. D. Oldham, *A Manual of the Geology of India*, 2d ed. In-8°, Calcutta, 1893, p. 348. Le Col de Balchdura s'abaisse au Nord-Est vers le Satledj; l'écart n'est guère que de 23 kilomètres; la distance entre le lac et le prolongement probable de la direction ne doit pas non plus être beaucoup plus considérable, d'après la carte de Griesbach.

3. K. Diener, *Die Faunen der tibetanischen Klippen von Malla Johar, Zentral-Himalaya* (Sitzungsber. K. Akad. Wiss. Wien, Mathem.-naturwiss. Kl., CXVI, Abt. 1, 1907, p. 603-614). [Sur les klippes du Tibet, voir ci-dessus, p. 1412.]

mêlées par places à des centaines de blocs « tibétains », se superposent au Flysch, dans lequel on ne voit pénétrer aucun filon (fig. 358). Dans certains blocs se trouvent injectés des filonnets qui ont marmorisé le calcaire. Sur quelques-unes des cimes du Kiogarh, le rôle de la roche éruptive se réduit à tel point que l'on peut les regarder comme des rochers calcaires. Les roches éruptives sont surtout des andésites ou des diabases très transformées; au Balchdura, on a aussi trouvé de la serpentine avec fer chromé.

Von Krafft dit avec raison que la source de ces roches doit se trouver au Nord ou au Nord-Est, car il n'y existe sur place, dans le substratum, aucun filon. Le pays d'origine probable des blocs exotiques est situé aussi dans la même direction.

Ces observations nous apprennent *que le charriage des lambeaux tibétains et l'apparition des roches simiques sont survenus à la même époque.*

Si les roches simiques du Balchdura et du Kiogarh doivent réellement être considérées comme la suite de celles du Lac Manasarowar, on arrive, comme conclusion probable, au résultat suivant :

A partir de Kargil sur l'Indus, court sur environ 600 kilomètres, dans la direction de la chaîne, une bande de couches tertiaires, accompagnée sur de grandes distances par des roches crofésimiques, et aussi andésitiques et basaltiques, parfois même par des cendres. Ces dernières jalonnent une ancienne zone de volcans, parallèle à la direction de l'Himalaya.

Hochstetter a déjà reconnu que les roches nifésimiques de la Nouvelle-Zélande forment un puissant filon-lit. Dans les hautes montagnes situées à l'Est de Hokitika, elles ont très probablement pénétré, d'après J. Mackintosh Bell et Fraser, suivant les lignes de moindre résistance, à la base des plis monoclinaux[1]. Mais que ces filons-lits soient les chemins de sortie originels et indépendants, venant des profondeurs magmatiques, est chose ici presque indémontrable, du moment où l'on n'admet pas comme preuve suffisante le cortège nifésimique abyssique, tel que l'awaruite, les minerais de nickel, etc.

Balchdura représente le bord d'une surface de charriage de premier ordre, le long de laquelle se superposent des séries sédimentaires de faciès différents. Tel est, au bord Sud des Alpes, le socle des Dinarides. Là aussi apparaissent des intrusions. Elles se trouvent soit sur la limite, soit au Nord ou au Sud de celle-ci. On a déjà indiqué les relations réciproques des divers gisements, en particulier de ceux des

1. J. Mackintosh Bell and C. Fraser, *The Geology of the Hokitika sheet, North Westland Quadrant* (New Zealand Geol. Survey, Bull. n° 1, New Ser., 1906. In-4°, Wellington, XI-101 p., 37 pl. dont 9 cartes; en particulier p. 68).

roches vertes d'Ivrée, de la zone tonalitique et des andésites de Styrie (III, 2e partie, p. 746). Lacroix a supposé que les roches vertes des Pyrénées proviennent du faciès de bordure des batholithes granitiques. D'après cela, elles représenteraient des liquations du magma mélangé, quelque chose comme la base de Sudbury; et peut-être se posera-t-on un jour la question de savoir si la bande principale d'Ivrée, avec ses minerais de nickel et ses péridotites, n'est pas la partie basse naturelle des diorites (tonalites). Elle n'envoie ses filons-lits de roches vertes que dans les Alpes, mais non dans les Dinarides.

Mais dès qu'il s'agit de déterminer les voies d'accès, il ne faut pas oublier qu'une superposition des Dinarides sur les Alpes, telle qu'on pouvait s'attendre à l'observer, n'est réalisée, en fait, que sur un espace restreint[1]; sur de longues distances, on ne voit que de violentes compressions ou des cassures; en Carinthie, la traînée de tonalite est accompagnée sur plus de 40 kilomètres par une étroite traînée de granitite plus récente, dont elle est séparée par une mince bande de schistes profondément modifiés ; enfin la tonalite, par places, est métamorphisée en gneiss, à la suite de transformations postérieures; en un mot, sur cette ligne de charriage de premier ordre, il a dû se produire, dans la suite, des événements tectoniques d'une autre nature. Le long de la Drave et du Gail, une région d'effondrement très étendue pénètre directement dans les Alpes.

Les cendres et les laves du Tsomoriri attestent, aussi bien que les andésites de la Styrie méridionale, l'existence de volcans. Nous aurons à tenir compte de ces particularités en examinant la façon dont se présentent les volcans actifs[2].

[1. Il résulte même des recherches toutes récentes de M. Lugeon et G. Henny que, sur une grande partie de leur limite commune, entre les environs de Turin et le massif de l'Adamello, l'on voit au contraire les Alpes *chevaucher sur les Dinarides* (C. R. Acad. Sc., Paris, CLX, 1915, 1er sem., p. 365-368).]

2. Dans toutes les données relatives au poids spécifique, on se heurte ici, comme dans les deux chapitres suivants, à une difficulté particulière. *Sal* est exprimé par le chiffre 2,7 (p. 1461), tandis que beaucoup de documents indiquent 2,8 comme moyenne de nombreuses mesures. Mais comme les collections, d'ordinaire, ne renferment qu'un petit nombre d'échantillons de gneiss, roche monotone et très répandue, contre un grand nombre d'échantillons de roches filoniennes, enclaves, etc., de constitution extrêmement variée, j'estime que le chiffre 2,8 est trop fort. Pour une raison analogue, il est possible que le chiffre 3,287, attribué à la péridotite de Saint-Paul (p. 1500), soit exact; mais au point de vue général, dont il est question ici, le fer chromé qui accompagne cette roche doit également entrer en ligne de compte.

CHAPITRE XXV

APPARITION ET DISTRIBUTION DES VOLCANS[1]

Explosions phréatiques. Volcanetti de l'Italie Centrale; origine du Ries; « embryons de volcans » de la Souabe; *Necks* de Fife.

Relations avec les filons : épanchements et necks du Nouveau-Mexique; Etna. Injections basaltiques d'Ostrau; Cleveland Dyke; Yogo Canyon. — Réseaux de dykes; fentes et fractures; diaclases parallèles, filons métallifères.

Cheminées Sud-Africaines : Affaissement du Karroo; dykes doléritiques du Matatielé; dyke basaltique de Sutherland; Mine Saint-Augustin. — Gisements du diamant.

Distribution des Volcans. Champs volcanisés diffus. Volcans greffés sur des lignes disjonctives. Volcans en groupes. Épanchements divers.

Alignements volcaniques. Iles Lipari; Alpides, Méditerranée Occidentale; Océan Indien, fractures Africaines; lignes disjonctives de l'Asie intérieure; guirlandes insulaires et arcs de bordure; bouches d'éruption en chapelet (Laki). — Déplacement latéral des volcans; variété des combinaisons réalisées dans la nature. — Zone d'Ivrée, Dinarides; Cook Inlet, Colombie Britannique.

Laves atlantiques et laves pacifiques. La série téphritique caractérise le domaine des effondrements récents, la série andésitique le domaine des plissements tertiaires. — Origine probable de ce contraste.

Explosions phréatiques. — Quand de l'hydrogène juvénile rencontre une masse illimitée d'eau vadose, il se produit un spectacle analogue à celui qu'a offert le Krakatoa en 1883. En mentionnant la grande projection de poussières qui a précédé la formation du Monte Nuovo, Johnston Lavis conclut que l'éruption primitive peut être accrue si les roches ignées ascendantes viennent à rencontrer une couche aquifère[2]. Cela peut avoir été dû, dans ce cas, à l'eau phréatique au voisinage de la mer; mais quand l'eau phréatique est renfermée dans les fissures étroites d'un massif calcaire, l'explosion brise la roche et la détente se produit par l'ouverture de fentes comparables à des canons de fusil (*diatrèmes* de

[1. Traduit par Albert Michel-Lévy.]

2. H. J. Johnston Lavis, *The Geology of Monte Somma and Vesuvius, being a Study in Vulcanology* (Quart. Journ. Geol. Soc. London, XL, 1884, p. 40).

Daubrée). C'est ainsi qu'ont pu se former les millions de petits débris anguleux de calcaire des Apennins contenus dans les tufs des Monts Albains, et aussi les petites bouches volcaniques (*volcanetti*) contenant du spath-fluor, que Scacchi a découvertes tout le long de la périphérie de l'effondement de l'Italie Centrale, depuis Mondragone, au Nord du bas Volturno, en passant par Caserte, jusqu'au bord septentrional de la Presqu'île de Sorrente. Scacchi pense qu'elles sont toutes d'origine tardive et que leur formation a été de courte durée[1].

La dépression presque circulaire du *Ries*, près de Nördlingen (fig. 359), a été considérée dans cet ouvrage comme un champ d'effondrement (I, p. 256). Branco a décrit ensuite, dans ses environs immédiats, plus de cent bouches de sortie remplies de tufs (*necks*, « embryons de volcans »; fig. 360, 361). De nouvelles comparaisons m'ont appris que le Ries a été produit par une explosion phréatique survenant à la base du calcaire jurassique[2]. Des débris sédimentaires et aussi granitiques

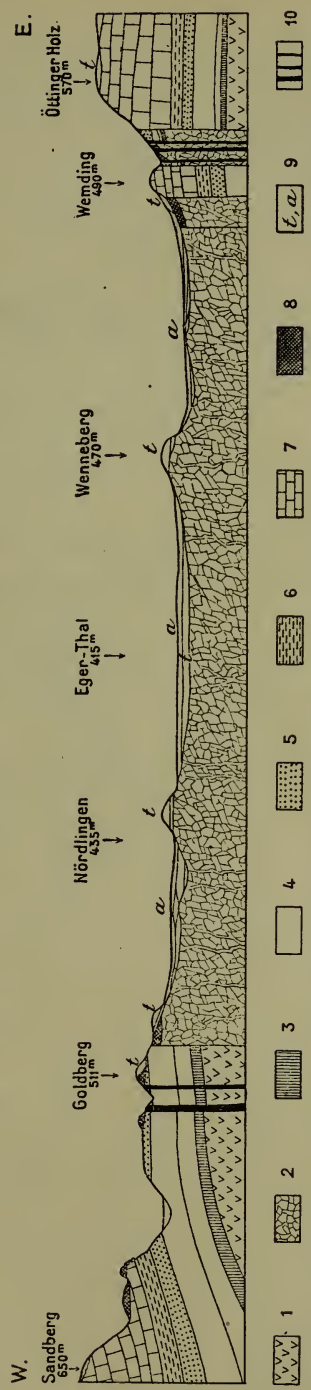


Fig. 359. — Coupe à travers la dépression du Ries (Allemagne du Sud), d'après W. Branco et E. Fraas (*Abhandl. K. Preuss. Akad. der Wissensch. zu Berlin*, Phys. Abh., 1901, pl. I, fig. 4).

1. Roches cristallines fondamentales; 2. Dº écrasées (granite du Ries); 3. Keuper; 4. Lias; 5. Bajocien; 6. Bathonien; 7. Jurassique moyen et supérieur; 8. Brèches et lambeaux de charriage; 9. Dépôts lacustres tertiaires, alluvions, etc.; 10. Tufs lipartiques (dykes). — Échelle de 1 : 100 000; hauteurs décuplées.

1. A. Scacchi, *La Regione vulcanica fluorifera della Campania* (Mem. R. Comitato Geol. d'Italia, IV, 1890, parte 1ª. In-4º, 49 p., pl. I-IV, dont 1 carte géol.; une 1re éd. avait paru en 1885).

2. Ed. Suess, *Einige Bemerkungen über den Mond* (Sitzungsber. k. Akad. Wiss. Wien, Mathem.-naturwiss. Cl., CIV, Abt. I, 1895, p. 21-54; en particulier p. 34). Les expériences de Daubrée montrent la force d'une explosion, mais présupposent l'existence d'une coupure ou d'une fente; *Expériences sur les actions mécaniques exercées sur les roches par des gaz doués d'une très forte pression et d'un mouvement rapide* (C. R. Acad. Sc., CXI, 1890, 2e sem., p. 767-

ont été projetés au dehors, sur le territoire environnant; néanmoins, la conservation du socle de granite au centre est caractéristique. L'écrasement complet du calcaire jurassique (*Vergriesung*) est un phénomène dentique à celui que présente le calcaire des Apennins. De même, les

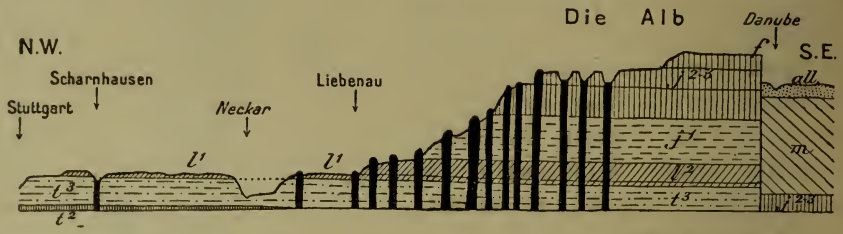


Fig. 360. — Coupe schématique de Stuttgart au Danube, d'après W. Branco (*Schwabens 125 Vulkan-Embryonen*, etc. In-8°, Stuttgart, 1894, p. 9, fig. a).

t^3. Muschelkalk; t^2. Keuper; l^1. Lias inférieur; l^2. Lias supérieur; j^1. Jurassique inférieur; j^{2-3}. Jurassique moyen et supérieur; *m*. Tertiaire; *all*. Dépôts pleistocènes; *f*. Faille du Danube; noir plein : basalte et tufs volcaniques.

blocs calcaires qui se trouvent à l'intérieur des *volcanetti* se brisent en menus fragments sous le choc du marteau[1].

774 et 857-863). [Voir aussi son mémoire : *Recherches expérimentales sur le rôle possible des gaz à hautes températures, doués de très fortes pressions et animés d'un mouvement fort rapide, dans divers phénomènes géologiques* (Bull. Soc. Géol. de France, 3e sér , XIX, 1890-1891, p. 313-354, 23 fig.).]

1. W. Branco, *Schwabens 125 Vulkan-Embryonen und deren tufferfüllte Ausbruchsröhren, das grösste Gebiet ehemaliger Maare auf der Erde* (Jahreshefte Ver. f. vaterl. Naturkunde in Württemberg, 1894 u. 1895. In-8°, xv-816 p., 115 fig., 2 cartes géol.). [Consulter aussi les mémoires suivants du même auteur : *Ueber die Entstehung der vulkanischen Durchbruchs-Kanäle im Gebiete von Urach* (Jahreshefte d. Vereins f. vaterl. Naturkunde in Württemberg, LIII, 1897, p. 13-27); *Die Gries-Breccien der Vorrieses als von Spalten unabhängige, früheste Stadien embryonaler Vulkanbildung* (Sitzungsber. K. Preuss. Akad. Wiss. Berlin, 1903, II, p. 748-756); *Beleuchtung der... Spaltenfrage der Vulkanembryonen* (Centralbl. f. Min., 1911, p. 356 et 387).] Voir, en outre, les nombreuses publications de Branco, Koken, E. Fraas, Knebel, Gaiser et Oberdorfer; je me contenterai de citer W. Branco, *Das vulcanische Vorries und seine Beziehungen zum vulcanischen Riese bei Nördlingen* (Abhandl. K. Preuss. Akad. Wiss. Berlin, 1902. In-4°, 132 p., 12 fig., 1 pl. carte, 1903). [Autres travaux récents sur le Ries : E. Fraas, *Die geologischen Verhältnisse im Ries* (Bericht über die 36. Versamml. d. Oberrhein. Geol. Gesellsch. zu Nördlingen, 1903, p. 8-18, 10 fig.); W. Branco und E. Fraas, *Das vulcanische Ries bei Nördlingen in seiner Bedeutung für Fragen der allgemeinen Geologie* (Abhandl. K. Akad. Wiss. Berlin, 1901. In-4°, 169 p., 17 fig., 1 pl., 1 carte); W. Branca, E. Fraas und E. Schütze, *Die Lagerungsverhältnisse Bunter Breccie an der Bahnlinie Donauwörth-Treuchtlingen und ihre Bedeutung für das Riesproblem* (Ibid., 1907, 56 p., 1 pl.); W. Branca und E. Fraas, *Abwehr der Angriffe W. Kranz gegen unsere, das vulkanische Ries bei Nördlingen betreffenden Arbeiten* (Centrablatt f. Min., Geol. u. Pal., 1911, p. 450-457, 469-477); W. Branca, *Müssen Intrusionen nothwendig mit Aufpressung verbunden sein? Mit kurzer Anwendung auf das vulkanische Ries bei Nördlingen* (Sitzungsber. K. Preuss. Akad. Wiss. Berlin, 1912, II, p. 707-735); W. Branca, *Aufpressung und Explosion oder nur Explosion im vulkanischen Ries bei Nördlingen?* (Zeitschr. Deutsch. Geol. Gesellsch., LXV, 1913, Monatsber., p. 245-278); R. Löffler, *Die Zusammensetzung der Grundgebirges im Ries* (Jahreshefte d. Vereins. f. vaterl. Naturkunde in Württemberg, LXVIII, 1912, p. 107-154, pl. III; renferme une bibliographie de 70 art.). — L'existence de roches basiques en profondeur, au-dessous de l'emplacement du Ries, a été invoquée pour rendre compte des anomalies magnétiques observées sur le pourtour de

La même explication s'applique probablement aussi aux *Necks* de

1 2 3 4 5 6

Fig. 361. — « Embryons de volcans » du Württemberg, d'après W. Branco (*Schwabens 125 Vulkan-Embryonen*, etc. In-8°, Stuttgart, 1894, pl. VII).

1. Keuper; 2. Lias; 3. Jurassique inférieur; 4. Jurassique supérieur; 5. Basalte et tufs basaltiques; 6. Alluvions des vallées. — Échelle de 1 : 250 000.

cette région; K. Haussmann, *Magnetische Messungen im Ries und dessen Umgebung* (Abhandl. K. Preuss. Akad. Wiss., Berlin, Math.-phys. Kl., 1904, IV. In-4°, 138 p., 8 pl.; carte reprod. dans R. A. Daly, *Igneous Rocks and their Origin*. In-8°, New York-London, 1914, p. 284, fig. 139). Ces roches constitueraient un puissant laccolithe, dont la montée à travers le granite aurait provoqué les phénomènes d'explosion décrits dans le texte (A. de Lapparent, Bull. Soc. Géol. de France, 4° sér., III, 1903, p. 247).] Les larmes de trachyte étirées d'un volcan voisin, le Haarhof, sont vides (ne contenant pas de lave antérieure), ce qui est l'indice d'une éruption unique; sur ce point, voir G. Mercalli, *Notizie vesuviane*. In-8°, Modena, 1895, p. 7, 10.

la partie orientale du comté de *Fife*, magistralement décrits par A. Geikie[1]. La presqu'île comprise entre le Firth of Tay et le Firth of Forth est formée du côté du Nord, au S. de Dundee, de Vieux Grès Rouge et, du côté du Sud, de Carbonifère dont l'épaisseur atteint bien 7000 à 8000 pieds [de 2130 à 2440 m.], avec des filons multiples et des intercalations de dolérite (fig. 363). Dans la région carbonifère, sur une zone large de 13 à 16 kilomètres qui court vers le S.S.W. de la Saint Andrews Bay à la Largo Bay, apparaissent environ 80 *necks* ou cheminées volcaniques. Un seul se rencontre vers l'Ouest, en dehors du Carbonifère. Ils sont remplis par un tuf, résultant de la pulvérisation d'une lave basique, sauf quelques-uns qui paraissent être restés vides et ne contiennent que des éboulis. Les coupes visibles au bord de la mer montrent qu'ils sont indépendants des failles et de l'allure des couches carbonifères (fig. 362), et que chacun de ces *necks* s'est frayé un passage plus ou moins cylindrique. Leurs diamètres oscillent entre 9 mètres et 800 mètres environ. Des cristaux d'orthose, parfois un peu arrondis et corrodés, pesant jusqu'à deux livres et associés à de la hornblende, de l'augite, du pyrope et beaucoup de sable quartzeux, se trouvent dans le tuf. Le fait, signalé par Geikie, de l'absence complète, au milieu des innombrables débris de Carbonifère, de toute trace du Vieux Grès Rouge sous-jacent ou des sédiments antérieurs, est d'autant plus frappant. « Il faut convenir, dit Geikie, que, de la nature du remplissage de la cheminée, aucun argument ne peut être tiré en faveur d'une origine profonde des éruptions. »

Nous croyons devoir chercher cette origine dans une nappe phréatique située à la limite du Vieux Grès Rouge et du Carbonifère.

Relations avec les filons. — Là où il est possible de se rapprocher des conduits profonds, on aboutit en général à des fentes. Prenons pour exemple la description faite par Dutton de la contrée comprise entre le Rio San José et le Rio Puerco, près du bord Sud-Est des plateaux du Colorado[2].

Branco envisage le phénomène du Ries comme une « explosion de contact », le mot de contact servant à désigner ici la limite inférieure des eaux souterraines. [Un pendant du Ries, sur une échelle réduite, est fourni, un peu plus à l'Ouest, par le petit bassin de Steinheim, qui présente des particularités de structure analogues; W. Branco und E. Fraas, *Das kryptovulcanische Becken von Steinheim* (Abhandl. K. Preuss. Akad. Wiss., Berlin, 1905. In-4°, 64 p., 10 fig., 3 pl. dont 2 cartes); R. A. Daly, ouvr. cité, p. 285, fig. 140; W. Kranz, *Das Problem des Steinheimer Beckens* (Jahresber. u. Mitteil. d. Oberrhein. Geol. Vereins, IV, 1914, p. 92-112, 5 fig., 1 pl.); E. Fraas, *Erwiderung auf W. Kranz* (Ibid., p. 113-115).]

1. Sir Arch. Geikie, *The Volcanic Necks of Eastern Fife* (Mem. Geol. Survey, Scotland. In-8°, Glasgow, 1902, p. 200-283, fig. 27-62, pl. I-XII, carte géol.; extrait du vol. intitulé : *The Geology of Eastern Fife*).

2. C. E. Dutton, *Mount Taylor and the Zuñi Plateau* (6th Ann. Rept. U. S. Geol. Survey, 4-85, p. 105-198, fig. 1-25, pl. XI-XXII, dont 3 cartes géol.). [Voir aussi D. W. Johnson,

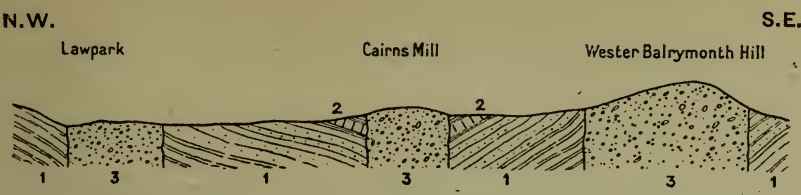


Fig. 362. — Coupe de Lawpark à Wester Balrymonth Hill (Écosse), d'après Sir Arch. Geikie (*The Geology of Eastern Fife*. In-8°, Glasgow, 1902, p. 223, fig. 39).

1. Grès calcifère; 2. Calcaire de Hurlet; 3. Tufs et agglomérats volcaniques. — Échelle de 1. : 25 000.

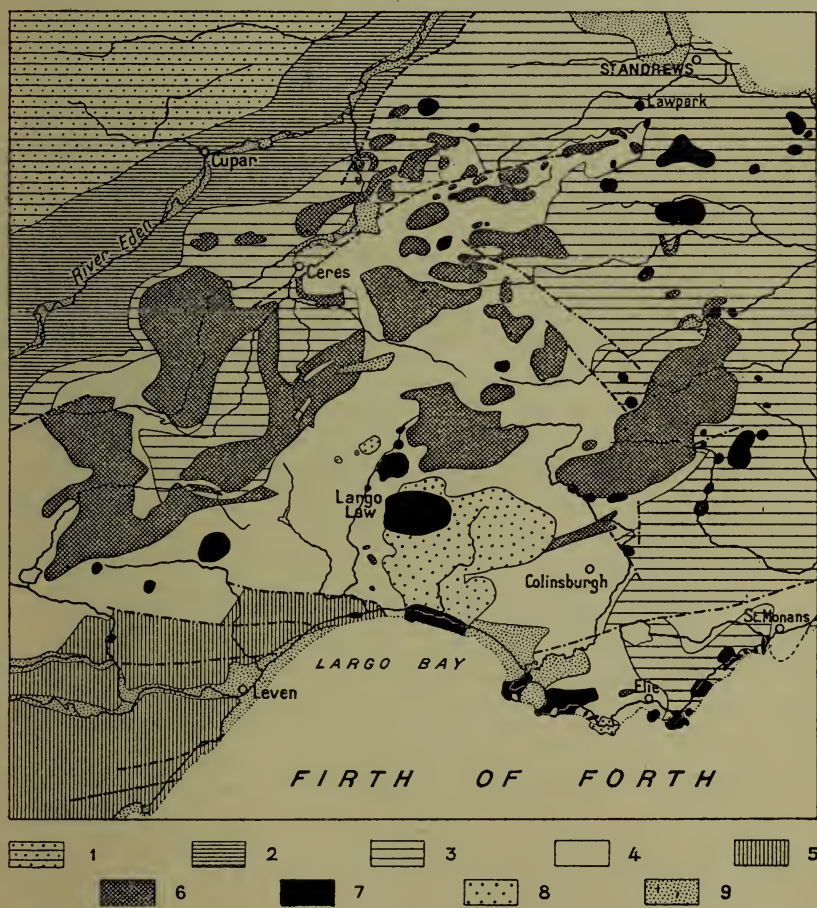


Fig. 363. — « Volcanic Necks » du Comté de Fife (Écosse), d'après Sir Arch. Geikie (*The Geology of Eastern Fife, Mem. Geol. Survey of Scotland*. In-8°, Glasgow, 1902, planche finale).

1. Laves andésitiques dévoniennes; 2. « Old Red Sandstone » (partie supérieure); 3. « Calciferous sandstone »; 4. Calcaire carbonifère; 5. Terrain houiller; 6. Nappes intrusives de dolérite; 7. « Necks » volcaniques (Permien); 8. Tufs supérieurs; 9. Alluvions, dunes, plages soulevées. Échelle de 1 : 200 000.

Un cône andésitique, le Mont Taylor (3 471 m.), domine la mesa volcanique qui l'entoure (2 500 m.). Celle-ci est limitée par une falaise

Fig. 364. — Mesa du Mount Taylor et Mesa Prieta (Nouveau-Mexique), d'après C. E. Dutton (*6th Ann. Rept. U. S. Geol. Survey*, 1884-85, pl. XIV, p. 128).

T. Trias; J. Terrain jurassique; K. Terrain crétacé; Vt. Roches volcaniques tertiaires; Vb (noir plein). Basalte récent. — Échelle de 1 : 633 600 environ.

abrupte, qui la sépare d'une plaine formée d'assises crétacées horizontales. Au Nord, le plateau domine de 250 à 450 mètres une dépression, large de 19 kilomètres, à travers laquelle coule le Rio Puerco; de l'autre côté du fleuve se trouve la Mesa Prieta, ancien prolongement de la mesa du Mont Taylor (fig. 364).

Volcanic Necks of the Mount Taylor Region, New Mexico (Bull. Geol. Soc. of America, XVIII, 1907, p. 303-324, fig. 1-10, pl. 25-30).]

Sur ces deux tables volcaniques se dressent, éparpillés, de 100 à 200 *necks*, qui répondent à autant de bouches d'éruption (fig. 365). Le Puerco a détruit, dans l'intervalle compris entre les deux plateaux, non seulement le manteau volcanique, mais aussi, en certains endroits, les couches tendres de la série crétacée, puissantes de plus de 300 mètres, de manière que la montée des cheminées est devenue visible. Au premier coup d'œil, leurs sections transversales paraissent circulaires, mais

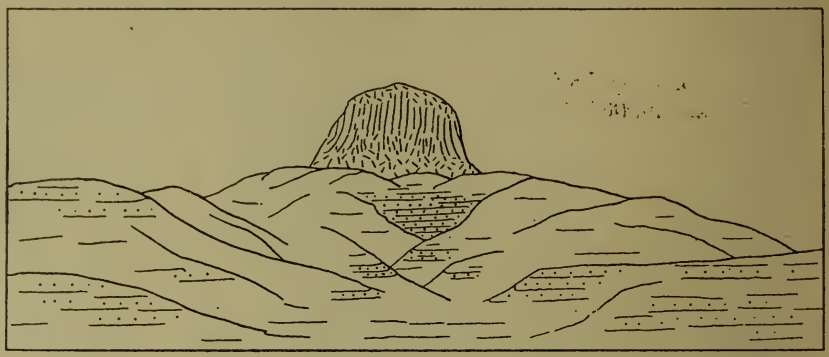


Fig. 365. — Le Cabezon, « neck » volcanique du Nouveau-Mexique, d'après D. W. Johnson (*Bull. Geol. Soc. of America*, XVIII, 1907, p. 310, fig. 3).

Hauteur du sommet au-dessus de la base : 658 m.; diamètre : 425 m. environ. Les couches horizontales qui apparaissent dans les ravins adjacents sont des grès crétacés.

cela ne se vérifie que pour les parties supérieures. Vers le bas se produit un allongement latéral. « Le grand axe, dit Dutton, est souvent prolongé à droite et à gauche par des filons, qui se poursuivent jusqu'à une grande distance du point d'éruption. »

On pourrait citer de nombreux cas analogues de dénudation d'un réseau de filons au-dessous de masses effusives; nous grouperons ici ceux dans lesquels apparaissent nettement la force expansive des gaz et les phénomènes secondaires qui en résultent.

A partir de 1874, et pendant près de vingt ans, une longue fissure, traversant le cratère de l'Etna et intéressant toute la partie supérieure de ce volcan (I, p. 109, 229), s'était ouverte à la suite d'éruptions répétées; dès 1883, Silvestri remarquait que, par l'ouverture de la fente agrandie, des gaz s'échappaient en plus grande abondance et que l'activité des autres parties de la montagne allait en s'affaiblissant [1].

1. « Perché avendo esse (le materie vaporose) potuto trovare un immediato sfogo da estesa fenditura rimasta aperta, fecero rapidamente diminuire quella tensione necessaria a spingere al di fuori la lava di centri di dove avea incominciato a scaturire »; Orazio Silvestri, *Sulla esplosione eccentrica dell' Etna avvenuta il 22 marzo 1883 e sul contemporaneo parossismo geodinamico-eruttivo* (Atti Accad. Gioenia di Sc. Nat., Catania, Ser. 3ª, Memorie, XVII, 1884. In-4°, 195 p., 7 pl. et cartes; en particulier p. 125); A. Riccò e S. Arcidiacono, *L'eruzione dell' Etna del 1892*; R. Osservatorio di Catania ed Etneo. [Parte I. *L'Etna dal 1883*

Aux houillères d'Ostrau, on a atteint dans les niveaux profonds toute une série de filons de basalte, s'élevant verticalement et à peu près parallèles; leur emplacement avait été franchi dans les niveaux

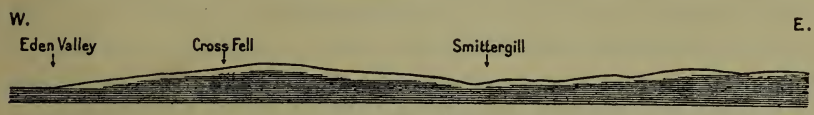


Fig. 366. — Coupe longitudinale du Cleveland Dyke (Angleterre), d'après J. G. Goodchild (in A. Geikie, *Transactions Royal Soc. Edinburgh*, XXXV, part II, 1888, p. 55, fig. 10).

Échelle de 1 : 125 000. Le grisé indique la position du dyke; les parties laissées en blanc sont celles où la roche éruptive n'atteint pas la surface du sol.

supérieurs sans qu'on en ait rencontré la moindre trace. Sur un seul point, près de Polnisch-Ostrau, l'un de ces dykes s'élève à travers des sables marins tertiaires jusqu'à la surface du sol actuel. L'injection basaltique s'est donc élevée dans ces filons de plusieurs milliers de mètres; elle a encore, quoique sur une largeur restreinte, transformé la houille en coke, puis elle s'est arrêtée à cent ou deux cents mètres au-dessous de la surface actuelle du terrain[1].

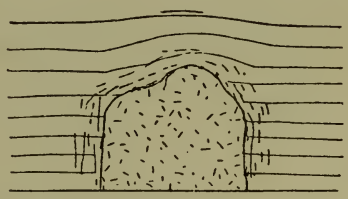


Fig. 367. — Terminaison en profondeur d'un dyke de basalte (carrières de Cockfield, Angleterre), d'après J. J. H. Teall (*Quart. Journ. Geol. Soc. London*, XL, 1884, p. 210, fig. 1).

Arch. Geikie a décrit comment le *Cleveland Dyke*, dans le Nord de l'Angleterre, reste, sur une assez longue étendue, à petite distance au-dessous du jour et comment son front souterrain paraît suivre en certains points les irrégularités de la surface du sol (fig. 366); il est cependant monté des profondeurs, au travers de sédiments atteignant à eux seuls une épaisseur de 5 000 mètres. Il peut y avoir tantôt coïncement progressif vers le haut, de telle façon que le dyke mesure 24 mètres dans la profondeur et seulement 6 mètres à une centaine de mètres plus haut, avant de disparaître tout à fait; tantôt la terminaison est brusque et affecte une forme obtuse (fig. 367)[2].

al 1892 (Ibid., ser. 4ª, XV, 1902, 62 p.); Parte II, *Diario dell'eruzione* (Ibid., XVI, 1903, 86 p., 2 pl., 1 carte); Parte III. *Visite all'apparato eruttivo ed al cratere centrale* (Ibid., XVII, 1904, 51 p., 3 pl.).]

1. Les gîtes anciennement reconnus ont été énumérés par J. Niedzwiezki, *Basalt-Vorkomnisse un Mährisch-Ostrauer Steinkohlenbecken* (Jahrb. k, k. Geol. Reichsanst., XXIII, 1873, p. 283-288, pl. VIII : carte); un croquis de détail a été offert en 1903 aux membres du Neuvième Congrès Géologique International par le directeur de la mine, le Dr Fillinger, de Mährisch-Ostrau. Sur la faible valeur du degré géothermique, voir Jičinsky, *Monographie der Ostrau-Karwiner Steinkohlen-Revieres*. In-4°, Teschen, 1885, p. 11, fig. 3-7.

2. Sir Arch. Geikie, *The Ancient Volcanoes of Great Britain*. In-8°, London, 1897, II, p. 147

Dans les mines de saphir du Yogo Canyon, dans le Montana, un dyke de lamprophyre basique, puissant de 3 à 6 pieds, s'élève à travers la roche calcaire. Weed et Pirsson décrivent un point où ce filon n'atteint pas le jour, et se termine brusquement de façon obtuse. Mais sa tête est transformée en une brèche par l'adjonction d'éclats plus ou moins métamorphisés de calcaire et de schiste (fig. 368). C'est dans cette brèche que se trouve le gisement de saphir [1].

Dans le bassin houiller d'Ostrau, comme au Yogo Canyon, existent encore, dans les parties supérieures des filons, de ces traces de température élevée. Il n'est guère possible d'expliquer la figure 367 sans admettre qu'il y préexistait une fissure, dont les parois parallèles ont été ensuite écartées l'une de l'autre.

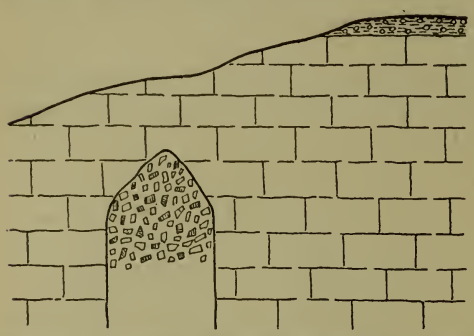


Fig. 368. — Gisement de saphir du Yogo Canyon (Montana), d'après W. H. Weed (*U. S. Geol. Survey, 20th Ann. Rept.*, 1898-99, part III, p. 456, fig. 72).

A Ostrau, j'ai gardé l'impression que l'injection des filons a procédé simultanément et d'une manière assez uniforme. Lorsqu'elle a atteint la profondeur de 100 à 200 mètres au-dessous de la surface actuelle, il a pu se produire, sur un point quelconque, une ouverture amenant une détente générale et un arrêt dans l'ascension du magma. Peut-être l'observation de Geikie, d'après laquelle on constate dans les dykes de basalte d'Écosse une mise en mouvement latérale de petites bulles, vient-elle appuyer l'hypothèse d'une détente de ce genre.

On conçoit facilement que, dans le voisinage d'un volcan, tout un réseau de dykes (fig. 369) puisse se former sans atteindre le jour, par suite de la détente amenée par les éruptions. Cette constatation n'est d'ailleurs pas décisive, car les filons qui atteignent le jour peuvent être soit des fissures se formant dans le toit d'un batholithe en voie d'ascension, soit des fentes de rejet (failles); quant à celles-ci, notamment quand elles sont disposées en gradins, on peut se demander si elles ne résultent pas d'un enfoncement dans le magma. Hibsch

et suiv.; J. J. H. Teall, *Petrological Notes on some North-of-England Dykes* (Quart. Journ. Geol. Soc., XL, 1884, p. 209-247, pl. XII, XIII).

1. W. H. Weed, *Geology of the Little Belt Mountains, Montana, with Notes on the Mineral Deposits of the Neihart, Barker, Yogo, and other Districts; accompanied by a Report on the Petrography of the Igneous Rocks, by* L. V. Pirsson (20th Ann. Rept. U. S. Geol. Survey, part 3, 1898-99, p. 257-581, fig. 36-79, pl. XXXVI-LXXVII, dont 2 cartes; en particulier p. 454-459 et 552).

a décrit des gradins de ce genre sur la feuille de Priesen, dans les montagnes basaltiques de la Bohême[1]. La question est encore beaucoup plus embarrassante quand il existe à la fois, dans une région

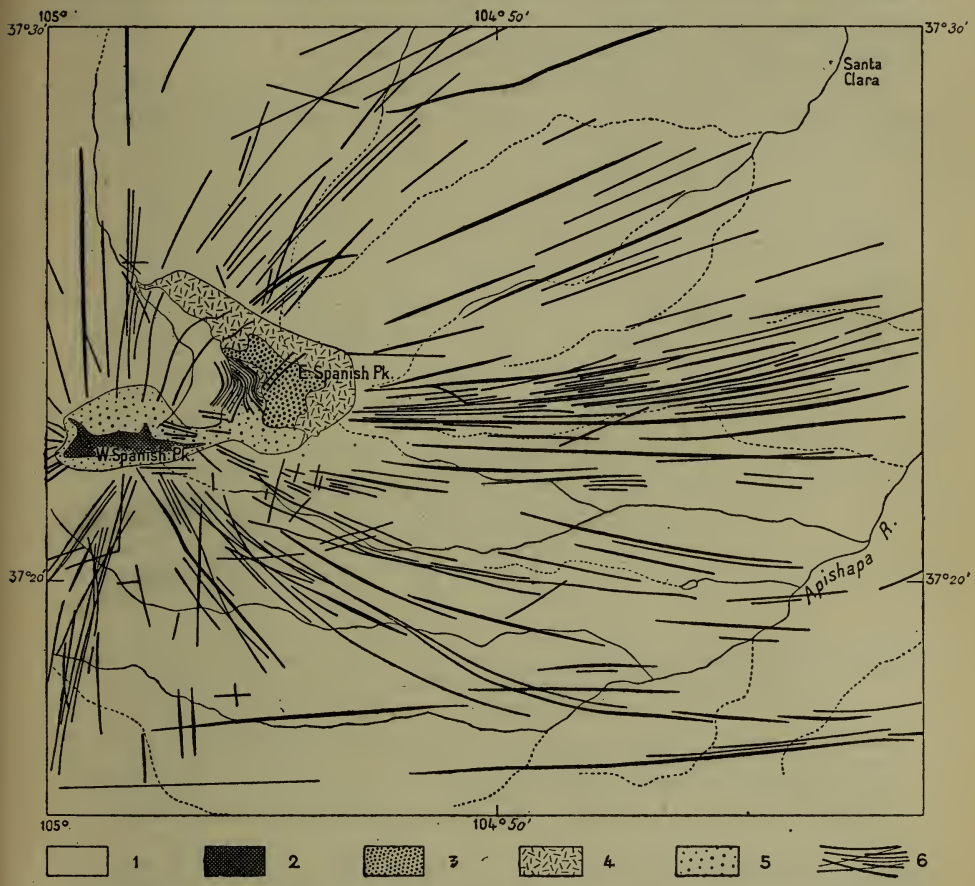


Fig. 369. — Dykes convergents de la région des Pics Espagnols (Colorado), d'après R. C. Hills (*Geologic Atlas of the United States*, folio 71 : *Spanish Peaks*, Washington, 1901).

1. Terrains crétacés et éocènes horizontaux; 2. Diorite à augite; 3. Porphyre granitique à augite; 4. Porphyre granitique; 5. Auréole métamorphique entourant les roches précédentes; 6. Dykes (monzonite, lamprophyre, felsophyre, basalte, etc.). — Échelle de 1 : 250 000.

volcanique, des accidents tectoniques bien caractérisés et des fractures en gradins d'âge différent. Michel-Lévy, Giraud, Boule, Glangeaud, et d'autres observateurs ont étudié ce cas dans le Centre de la France (fig. 370)[2]. Ailleurs, deux terrains de constitution différente

1. J. E. Hibsch, *Geologische Karte des böhmischen Mittelgebirges*, Blatt V. *Grosspriesen* (Tschermak-Becke, Mineralog. u. Petrogr. Mittheil., Neue Folge, XXI, 1902, p. 465-590, 1 pl., 1 carte géol.; en particulier p. 469).

2. Je me contenterai de renvoyer à A. Michel-Lévy, *La chaîne des Puys* (Bull. Soc. Géol. de France, 3e sér., XVIII, 1889-90, p. 700, fig. 3), et à M. Boule, *Réunion extraordinaire dans le*

se trouvent en contact immédiat et la sortie des roches volcaniques coïncide indubitablement avec une limite tectonique, comme dans le Banat (I, p. 209, fig. 37); tantôt c'est un effondrement, comme aux Iles Lipari; tantôt il s'agit de voies d'accès de premier ordre, qui sont visibles le long des grands alignements volcaniques.

A côté de tous les filons énumérés ci-dessus, se place encore un groupe d'origine différente. Les filons qui lui appartiennent sont très

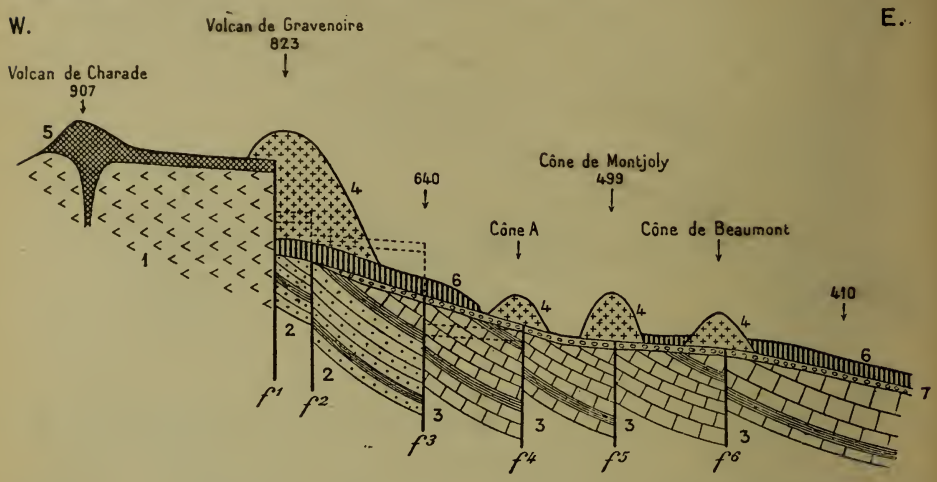


Fig. 370. — Coupe synthétique des volcans de Charade, Gravenoire et Beaumont (Chaîne des Puys), d'après Ph. Glangeaud (*Bull. Service Carte géol. de la France*, XII, 1900-1901, n° 82, p. 181, fig. 13).

1. Granite; 2. Arkoses et argiles (Sannoisien supérieur); 3. Marnes, calcaires marneux et arkoses (Stampien); 4. Cônes de scories; 5. Coulées du volcan de Charade (les parties de cette coulée découpées par les failles sont figurées en pointillé); 6. Coulées de Gravenoire et des cônes de Beaumont; 7. Alluvions sous-basaltiques (Quaternaire inférieur); f^1-f^6. Failles volcaniques et hydro-thermales (Sources de Royat et de Clermont). — Échelle approximative des longueurs 1 : 30 000.

longs, parallèles, rectilignes, avec des salbandes lisses, souvent de très faible puissance, et recoupant obliquement la direction des terrains. A propos des injections passives, nous avons produit quelques exemples de cette nature; les filons bitumineux de l'Utah sont carac-

Velay (Ibid., 3e sér., XXI, 1893, p. 552, fig. 11); voir aussi J. Giraud, *Études géologiques sur la Limagne* (*Auvergne*) (Bull. Service Carte géol. de la France, XIII, 1901-1902, n° 87, p. 397, fig. 97), et Ph. Glangeaud, *Les éruptions de la Limagne. Sept périodes d'activité volcanique du Miocène inférieur au Pleistocène* (C. R. Acad. Sc., CXLVI, 1908, 1er sem., p. 551-553). [Voir aussi les mémoires suivants de Ph. Glangeaud : *Monographie du Volcan de Gravenoire, près de Clermont-Ferrand* (Bull. Service Carte Géol. de la France, XII, 1900-1901, n° 82, p. 145-184, 13 fig., pl. I, II, dont 1 carte géol.); *Les régions volcaniques du Puy-de-Dôme*, I. *Limagne, chaîne de la Sioule, etc.* (Ibid., XIX, 1908-1909, n° 123, p. 199-378, 73 fig., pl. I-III, dont 2 cartes géol.); D°, II. *La chaîne des Puys* (Ibid., XXII, 1912-1913, n° 135, p. 241-496, 78 fig., 12 pl., dont 1 grande carte géol. à 1 : 50 000; renferme une bibliographie); *Les plus jeunes volcans de la France : la Chaîne des Puys* (Revue générale des Sc., XXV, 1914, p. 50-60, 16 fig.); *Carte géologique détaillée de la France* à 1 : 80 000, feuille 166 (*Clermont*), 2e éd., 1910, par A. Michel-. Lévy, A. Lacroix, J. Giraud, Ph. Glangeaud.]

téristiques. Diller a trouvé en 1890 que certains dykes de grès de Californie suivent les surfaces de refoulement (clivage) [1]. Ceci est bien, en fait, la seule explication satisfaisante. Ce n'est ni une explosion, ni le plissement, ni une contraction, mais seulement un refoulement d'ensemble, peut-être accompagné, par places, d'une légère torsion secondaire, qui a pu donner naissance à la production de lignes parallèles de ce genre. Une bonne partie des *diaclases* de Daubrée se rangent dans ce groupe. Des injections volcaniques parallèles du même genre sont également connues, et leur liaison avec les surfaces de refoulement a été depuis longtemps remarquée. Dans des cas nombreux, il faut également ranger dans cette catégorie les filons métallifères parallèles.

Les fentes de ce genre présentent cette particularité que, quand elles arrivent à la limite d'une roche dont la nature se prête moins bien à la formation de surfaces de refoulement, elles se subdivisent brusquement en fissures plus petites ou disparaissent. Les mineurs allemands disent que le filon « s'évanouit » (*zerschlägt sich*). Les filons bitumineux montrent, eux aussi, des apparences analogues [2].

Cheminées Sud-Africaines. — L'Afrique Australe offre les exemples les plus divers d'injection et d'explosion.

Les filons-lits doléritiques du Karroo appartiennent à une phase ancienne de la longue série d'événements dont le plus récent épisode est représenté par la formation des *cheminées diamantifères*. Les filons-lits atteignent, sur le flanc Nord des Cedarbergen, les abords de l'Océan Atlantique; sur la Great Kei River, ils aboutissent à l'Océan Indien [3].

L'extension des cheminées est encore plus grande. On n'en connaît qu'une seule en terrains plissés, non loin de Heidelberg; elle est plus jeune que la série d'Uitenhage [4]. Encore à l'Est de Rietfontein, à plus

1. J. S. Diller, *Sandstone Dikes* (Bull. Geol. Soc. of America, I, 1890, p. 411-442, pl. 6-8). On laissera ici de côté la question de savoir jusqu'à quel point la torsion intervient dans la production du phénomène de la schistosité.

2. Par exemple dans la Virginie Occidentale; G. H. Eldridge, *The Asphalt aud Bituminous Rock Deposits of the United States* (U. S. Geol. Survey, 22d Ann. Rept., 1900-1901, part 1; p. 236).

[3. Voir A. W. Rogers and A. L. Du Toit, *An Introduction to the Geology of Cape Colony*, 2d ed. In-8°, London, 1909, chap. IX, p. 258-288, fig. 20-22, pl. XVI-XXI : « The Intrusive Dolerites and allied Rocks ». — Pour les cheminées diamantifères, voir le même ouvrage, chap. XI, p. 344-369 : « Volcanic Pipes younger than the Stormberg Volcanoes »; et Percy A. Wagner, *The Diamond Fields of Southern Africa*. In-8°, xxv-347 p., 82 fig. dont 36 pl., 2 cartes, Johannesburg, 1914.]

4. A. W. Rogers and E. H. L. Schwarz, *Report on the Southern Districts between Breede River and George* (Cape of Good Hope, Ann. Rept. Geol. Commission, 1898 (1900), p. 62). Au Zuurberg, il existe une faille, accompagnée d'un filon de basalte à mélilite, qui, dans tous les cas, est postérieure aux couches d'Uitenhage; A. W. Rogers, *The Volcanic Fissure near Zuurberg* (Trans. South African Phil. Soc., XVI, 1905, p. 189-199, 4 fig. dont 1 carte). A une

de 7 degrés de latitude au Nord de Heidelberg, Cohen a trouvé le même basalte à mélilite[1], et des diamants ont été découverts sur le territoire allemand jusqu'au voisinage de la Baie de Lüderitz[2]. Harger mentionne des cheminées, au Nord-Ouest, jusque dans le Damara-Land et, au Nord-Est, jusqu'au voisinage du Zambèze[3]. Tout

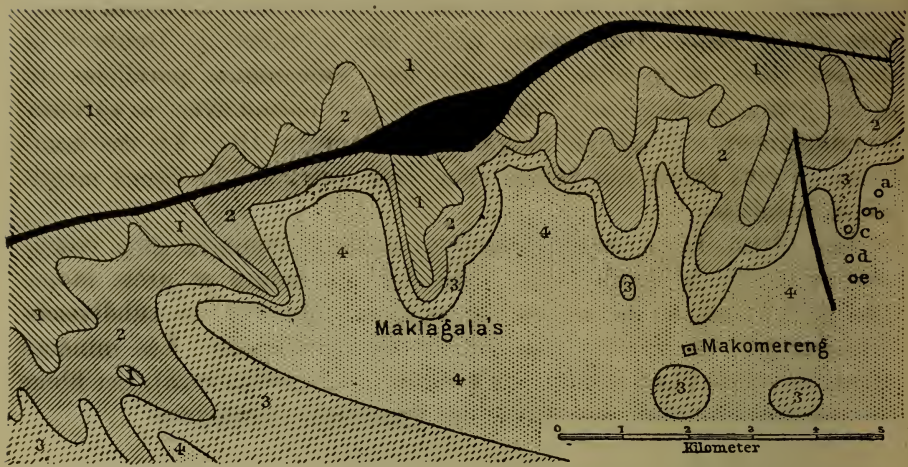


Fig. 371. — Dyke doléritique de Makomereng (Afrique Australe), d'après E. H. L. Schwarz (*Cape of Good Hope, Ann. Report Geol. Commission*, 1902).

1. Laves (Amygdaloïde). — Série du Stormberg : 2. Grès (*Cave Sandstone*); 3. Couches rouges; 4. Couches de Moltena. — Noir plein : Dolérite; *a* à *e* : petites cheminées d'éruption. Échelle de 1 : 120 000.

ce pays, qui s'étend au moins sur 16 degrés de latitude, doit être considéré comme le domaine de violentes explosions gazéiformes. On ne

grande distance de là, au Nord-Ouest, on observe deux autres dykes traversant des terrains plissés. Comme des cendres et des coulées ont été signalées au Drakensberg dans le « Cave Sandstone », dont l'âge est rhétien ou liasique, la durée des éruptions paraît avoir été très longue; voir A. L. Du Toit, *The Forming of the Drakensberg* (Ibid. XVI, 1905, p. 53-71, 1 carte géol.).

1. E. Cohen *Melilithaugitgesteine und calcitführender Aplit aus Südafrika* (Tschermak. Mineralog. u. Petrogr. Mittheil., Neue Folge, XIV, 1895, p. 188-190). Cohen fut l'un des premiers à donner un tableau exact des gîtes diamantifères.

[2. Voir H. Merensky, *Die Diamantvorkommen in Lüderitzland* (Zeitschr. f. prakt. Geol., XVII, 1909, p. 122-129, 2 fig., pl. II), et *The Diamond Deposits of Lüderitzland, German South-West Africa* (Trans. Geol. Soc. South Africa, XII, 1909, p. 13-23, pl. I, II : carte et phot.); Percy A. Wagner, *The Origin of the German South-West African Diamonds* (Ibid., XIII, 1910, p. 56-60, 1 fig., 1 pl. coupes); H. Lotz, *Ueber die Diamantablagerungen bei Lüderitzbucht* (Zeitschr. Deutsch. Geol. Gesellsch., LXI, 1909, Monatsber., p. 135-146, 1 carte dans le t.); E. Kaiser, *Ueber Diamanten aus Deutsch Südweet-Afrika* (Centralbl. f. Mineral., 1909, p. 235-244, 4 fig.). — Voir aussi l'article intitulé : *Die Diamantlagerstätten in Südweet-Afrika* (Petermanns Mitteil., LVI-I, 1910, p. 22-23, pl. 5 : cartes), et le résumé critique de P. Lemoine, *La découverte des diamants dans le Sud-Ouest africain allemand* (La Géographie, XXI, 1910, 1er sem., p. 190-194).]

3. H. S. Harger, *The Diamond Pipes and Fissures of South Africa* (Trans. Geol. Soc. South Africa, VIII, 1905, p. 110-134).

connaît pas d'autre exemple sur le Globe d'une ampleur égale ou même approchante.

Rogers et Schwarz ont déduit de l'ensemble de leurs précieuses observations que les filons-lits doléritiques plongent de toutes parts vers le milieu du Karroo, disposé comme on sait en forme de cuvette, ou, pour parler plus exactement, que *ces filons, en allant vers le centre du bassin, sont situés dans des couches de plus en plus profondes de la série*

Fig. 372. — Dyke interrompu du Matatiélé (Afrique Australe), d'après E. H. L. Schwarz (*Cape of Good Hope, Ann. Report Geol. Commission*, 1902).
Même légende que pour la fig. 371. — Échelle de 1 : 120 000.

du Karroo. Tantôt ils recoupent les couches sous un angle aigu; ou bien un filon-lit, par bonds, pénètre subitement dans un joint plus profond. Ces auteurs en concluent que *le centre du Karroo a dû s'affaisser.* Rogers remarque qu'on n'y connaît pas de vrai batholithe[1]. Les fentes de filons ascendantes et les lieux d'éruption sont influencés par ces circonstances générales.

Au Matatiélé, au pied des versants du Quathlamba méridional, E. H. L. Schwarz a décrit dix-neuf points d'éruptions doléritiques et a fait connaître en partie leur liaison avec les filons. La figure 371 représente un de ces dykes, long de plus de 160 kilomètres, le plus souvent large seulement de 18 à 20 mètres, mais, sur un point, s'élargissant brusquement. Cette section, en forme de citron, d'une bouche d'érup-

1. A. W. Rogers and E. H. L. Schwarz, *General Survey of the Rocks in the Southern Parts of the Transkei and Pondoland* (Cape of Good Hope, Ann. Rept. Geol. Commission, 1901 (1902), p. 25-46; en particulier p. 30); A. W. Rogers, *An Introduction to the Geology of Cape Colony*. In-8°, London, 1905, p. 247; du même, *The Geological History of the Gouritz River System* (Trans. South African Phil. Soc., XIV, 1903, p. 375-384, pl. III : carte géol.), et ailleurs.

tion se rapproche de plus en plus, par continuation de l'alésage, de la forme circulaire. Un autre dyke (fig. 372) n'est visible que sur 6,5 kilomètres; sa puissance, très variable, atteint jusqu'à 360 mètres. Il forme une haute muraille entre deux des affluents supérieurs de l'Umziburu (Saint John's River) et a été morcelé par la désagrégation en plusieurs cimes coniques. Vers le milieu, il est subitement interrompu et les bancs de grès s'avancent horizontalement au-dessus du filon[1].

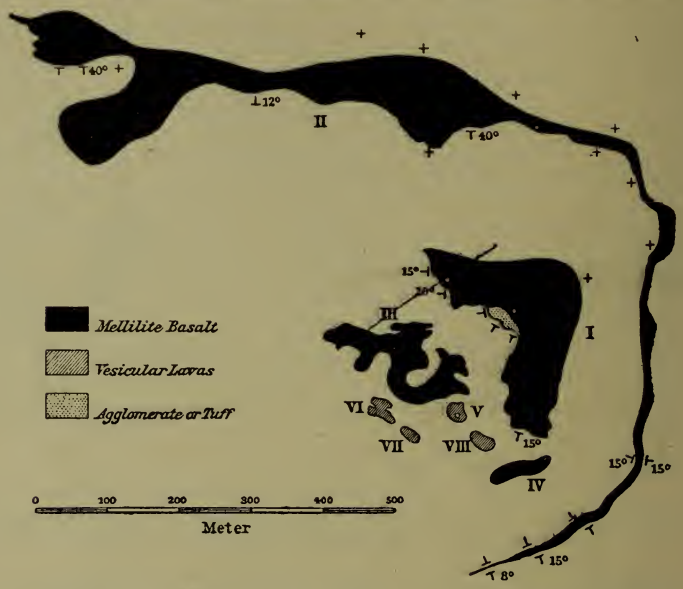


Fig. 373. — Disposition des affleurements de basalte à mélilite près de Sutherland (Afrique Australe), d'après A. W. Rogers et A. L. Du Toit (*Cape of Good Hope, Annual Report of the Geol. Commission*, 1903, p. 46).

La partie laissée en blanc est occupée par les couches de Beaufort. Pour l'explication des chiffres romains, voir le texte. — Échelle de 1 : 10000 environ.

Rogers et Du Toit ont découvert, à peu de distance à l'Ouest de Sutherland (Sud-Ouest du Roggeveld), un dyke demi-circulaire de basalte à mélilite, de 2 kilomètres de long, bifurqué à une extrémité et disparaissant en coin à l'autre bout suivant une ligne sinueuse (fig. 373, II). Au Sud, le grès plonge vers l'extérieur, de part et d'autre du filon; au Nord, ce pendage est seulement local, et limité au côté Sud. Dans l'angle de I, on a foré un puits dans des tufs d'un gris bleuâtre; vers le Sud-Ouest se rencontre une brèche de grès et de schiste, au milieu de laquelle on voit sous le microscope du mica, de l'augite, de la perowskite, etc. Ailleurs existe une roche grise avec

1. E. H. L. Schwarz, *Geological Survey of Parts of the Matatiele Division, Griqualand East. Petrological Examination of the Volcanic Rocks of Matatiele, Griqualand East* (Cape of Good Hope, Ann. Rept. Geol. Commission, VIII, 1902 (1903), p. 11-96, 1 carte géol.; en particulier p. 48 et suiv. : « Fissures of Eruption »).

de nombreux cristaux d'olivine et des morceaux d'ilménite, comme dans les cheminées diamantifères; en III et en IV se trouve du basalte à mélilite; en V et en VIII, les affleurements sont défectueux; en tous cas la roche y est différente : l'on n'y trouve, à côté de nombreux éclats de grès et de schiste, qu'un verre extrêmement bulleux[1].

Ce cas est peut-être un exemple d'une tentative d'éruption se propa-

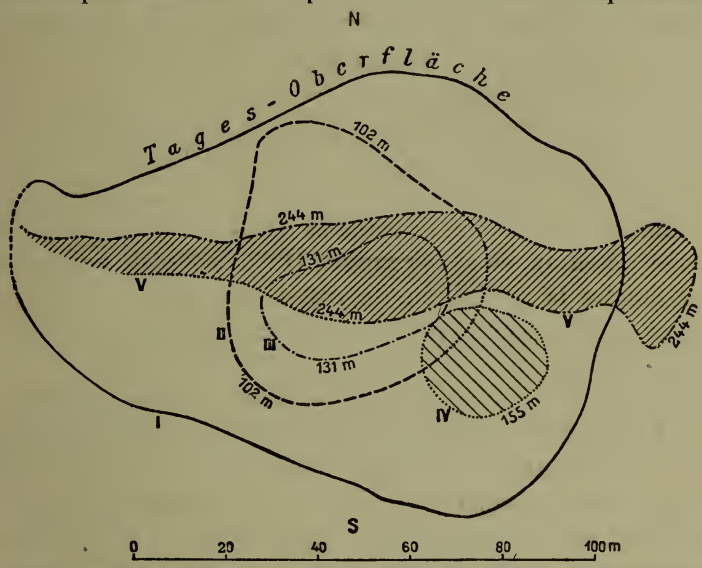


Fig. 374. — Plan de la Mine Saint-Augustin, près Kimberley (Afrique Australe), d'après A. L. Du Toit (*Cape of Good Hope, 11th Annual Rept. of the Geol. Commission*, 1906, p. 140, fig. 12).

Explosion suivant une ligne sinueuse partant d'une fente. — Échelle de 1 : 1 600.

geant vers le haut. Peut-être y a-t-il eu détente de II par suite de la formation des bouches numérotées de V à VIII.

Nous nous rapprochons ainsi des cheminées diamantifères. Elles traversent fréquemment de puissants filons-lits doléritiques. En s'épanouissant vers le haut, elles atteignent 300 mètres de diamètre et, par exception, jusqu'à 685 mètres. De nombreuses cheminées plus petites possèdent une section caractéristique en forme de citron[2]. Harger montre que plusieurs centaines de cheminées de ce genre sont disséminées dans l'Afrique Australe. Elles semblent constituer des groupes; on connaît en outre de nombreux filons, dont la largeur

1. A. W. Rogers and A. L. Du Toit, *Geological Survey of parts of the Divisions of Ceres, Sutherland, and Calvinia* (Cape of Good Hope, Ann. Rept. Geol. Commission, 1903 (1904), p. 43 et suiv., carte): les mêmes, *The Sutherland Volcanic Pipes and their Relationship to other Vents in South Africa* (Trans. South African Phil. Soc., XV, 1904, p. 61-83, 4 fig.).

2. Voir F. H. Hatch and G. S. Corstorphine, *The Geology of South Africa*. In-8°, London, 1905, p. 290; voir surtout H. S. Harger, mém. cité, et les nombreux travaux de W. Graichen, Macco, F. W. Voit, R. Beck publiés dans la Zeitschr. f. prakt. Geol., notamment en 1906 et 1907.

varie de 30 mètres à quelques pouces, et qui souvent contiennent des diamants, mais en quantité insuffisante pour payer l'exploitation; ces dykes sont fréquemment remplis de roche dure, ou bien s'épanouissent brusquement en prenant tous les caractères des cheminées. Il faut en conclure que *les cheminées diamantifères sont elles-mêmes en rapport avec un réseau de filons.*

La mine Saint-Augustin, près de Kimberley, fournit, d'après la description de Du Toit, un exemple intéressant de cette relation (fig. 374).

A la profondeur de 244 mètres, on voit la fente (V); entre cette profondeur et celle de 155 mètres (IV), la masse des gaz et du tuf diamantifère, en s'élevant, a atteint, à plus de 20 mètres au Sud de la fente, un point où l'extrusion et l'explosion sont devenues possibles. Avec le commencement de l'extrusion disparaît la fente (sans doute grâce à une détente), et à 155 mètres (IV) l'on n'en voit plus trace. Avant d'atteindre la profondeur de 131 mètres (III), l'axe de la cavité s'est déplacé de nouveau de plus de 30 mètres (II); au-dessus, il s'élève et s'épanouit très vite[1].

Nous n'entrerons pas ici dans les détails, à propos de la constitution de la kimberlite, la roche formant le remplissage de ces cheminées. En dépit de nombreux rapprochements avec les roches qui sont considérées comme venant des grandes profondeurs, on constate cependant des différences. Au chrome ne revient qu'un rôle secondaire, et le nickel n'est pas signalé. L'ilménite, qui se montre parfois très abondante, indique peut-être une opposition entre le nickel et le titane analogue à celle que l'on remarque dans maints minerais de fer, dans quelques étoiles fixes et dans les taches solaires. Le titane accompagne les grandes éruptions gazeuses du Soleil, comme il a accompagné dans l'Afrique Australe les plus grandes éruptions gazeuses de la Terre[2]. Parmi les nombreux problèmes que nous rencontrons sur notre route, celui-ci est l'un des plus passionnants.

On connaît sur un assez grand nombre de points l'existence de diamants; c'est toujours dans des gisements disséminés de roches simiques profondes, situés dans des régions devenues depuis longtemps rigides. Un point de ce genre est Ruby Hill, à Dinoga, dans le comté de Murchison (Nouvelle-Galles du Sud)[3]. A Bornéo, on trouve des

1. A. L. Du Toit, *Geological Survey of the Eastern Portion of Griqualand West* (Cape of Good Hope, 11th Ann. Rept. Geol. Commission, 1906 (1907), p. 87-176, 13 fig.; en particulier p. 140).

2. Ed. Suess, *Über Einzelheiten in der Beschaffenheit einiger Himmelskörper* (Sitzungsberichte k. Akad. Wiss. Wien, Mathem.-naturwiss. Kl., CXVI, Abt. I, 1907, p. 1555-1561).

3. E. F. Pittman, *Diamonds in Volcanic Breccia. The Ruby Hill Mine* (Ann. Rept. Dept. of Mines, New South Wales, 1900 (1901), p. 180, 181, 1 carte géol.). Au Brésil, les conditions sont différentes; voir Orv. A. Derby, *Brazilian Evidence on the Genesis of the Diamond* (Journ. of Geol., Chicago, VI, 1898, p. 121-146).

diamants dans de la péridotite. J'ai déjà mentionné les gisements analogues, très dispersés, des États-Unis, gisements qui cependant n'ont encore livré aucun diamant[1].

Sous leur forme typique, dans le Sud de l'Afrique, les gisements de diamants sont les indices de violentes explosions de nature gazeuse, provenant d'une très grande profondeur. Ils forment un groupe indépendant parmi les phénomènes explosifs.

Distribution des Volcans. — Le dégagement des gaz ne s'accomplit pas sur la Terre aussi librement que sur le Soleil, et il n'est pas aussi avancé que sur la Lune. Il est gêné par la présence de la lithosphère. En outre, il est régi par des conditions déterminées, qui permet-

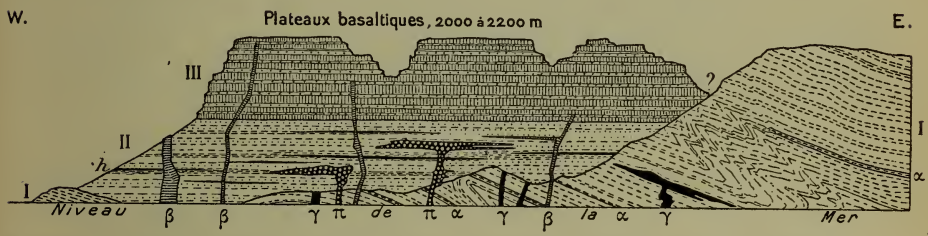


Fig. 375. — Plateaux basaltiques du Groenland Nord-Occidental (Disko et Nugsuak), d'après Arnold Heim (in : M. Rikli und Arn. Heim, *Sommerfahrten in Grönland.* In-8°, Frauenfeld, 1911, p. 29).

I. Roches cristallines pré-cambriennes, faisant partie du Continent Laurentien : gneiss gris et rouges, avec bancs d'amphibolite (α) et dykes de granite, aplite et pegmatite (γ); II. Terrains sédimentaires : grès et argiles schisteuses du Crétacé supérieur, et bancs de lignite intercalés (*h*) ; III. Épanchements volcaniques tertiaires, dykes de basalte (β) et intrusions de péridotite (π). — Il n'est pas certain que la ligne de contact entre les séries I et III réponde à une surface d'érosion ; peut-être coïncide-t-elle, au contraire, avec une faille.

tent de distinguer certaines catégories, à côté desquelles subsistent d'ailleurs un certain nombre d'exceptions.

La répartition des volcans n'est pas la même dans l'hémisphère atlantique et dans l'hémisphère pacifique.

Dans le *domaine atlantique*, on rencontre : *a*) des champs volcanisés diffus; *b*) des volcans greffés sur des lignes disjonctives résultant de la tension; *c*) des groupes de volcans.

a) Le plus vaste exemple que l'on connaisse d'un champ volcanisé *diffus* répond aux laves basaltiques qui s'étendent depuis le Groenland jusqu'au Nord de l'Irlande et à travers une partie considérable du Nord de la Sibérie (III, 2e partie, p. 948). Il n'est pas prouvé que ce domaine boréal ait jamais été en activité simultanément sur une pareille étendue. Sur les bords de la Nijniaïa Toungouska, les coulées se montrent déjà interstratifiées dans des couches contenant une

[1. Sur la récente découverte de diamants dans l'Arkansas, voir ci-dessus, p. 1499, note 2.]

flore permienne, et plus au Sud, elles sont plus récentes que les vallées actuelles; dans la Terre François-Joseph, elles appartiennent au Jurassique moyen; à l'Ile Disko, dans l'Ouest du Groenland (fig. 375), elles datent de l'époque de la Craie inférieure et moyenne[1]; en Irlande, elles sont tertiaires[2]; les volcans en activité de l'Islande et de Jan Mayen sont vraisemblablement les derniers venus[3]. Là où elles ont été étudiées en détail, comme en Écosse, on constate que ces laves sont sorties d'un réseau de dykes très étendu. Elles s'étendent dans le Groenland sur des parties de la Laurentia; en Écosse, en Irlande, aux Iles Færöer, sur les Calédonides; en Sibérie, sur le Continent de l'Angara, et aussi sur certaines parties du faîte du Baïkal.

Il faut citer, comme second exemple, les épanchements effusifs de trapp du Dekkan (I, p. 524). Leur âge est voisin de la limite entre le Crétacé et l'Éocène. Leurs coulées extrêmes s'étendent de la presqu'île de l'Inde jusqu'aux derniers plis des chaînes Iraniennes, dans le Sind, plis appartenant à la périphérie de l'Édifice Asiatique[4].

Les coulées et les filons-lits du Karroo, caractérisés par des explosions de gaz subséquentes, sont d'âge permien et mésozoïque ancien[5].

b) Les volcans greffés sur des *lignes* disjonctives sont représentés dans les fossés Africains. L'alignement Syrie-Lac Rodolphe[6], celui du Tanganyka[7], celui du Cameroun[8] en fournissent les principaux exemples. Les fentes sur lesquelles ils apparaissent ont pris naissance

[1. Voir III, 2e partie, p. 936, 937.]

[2. III, 2e partie, p. 949.]

[3. III, 2e partie, p. 950-956; 3e partie, p. 1362. — Consulter en outre H. Spethmann, *Islands grösster Vulkan. Die Dyngjufjöll mit der Askja.* In-8°, VII-143 p., 36 fig., Leipzig, 1913; le même, *Die Schildvulkane der östlichen Inner-Island. Eine vergleichende Studie* (Zeitschr. Gesellsch. f. Erdkunde, Berlin, 1914, p. 364-393); F. v. Wolff, *Der Vulkanismus*, I. In-8°, Stuttgart, 1914, p. 446-452.]

[4. Voir la grande carte publiée par le Geological Survey of India, sous le titre de : *Geological Map of India and adjacent countries.* Scale 1 inch = 32 miles or : 1 : 2 027 520, by R. D. Oldham, T. H. Holland and H. H. Hayden. Revised to December, 1909, feuilles 1, 3, 4 et 5.]

[5. A. W. Rogers and A. L. Du Toit, *An Introduction to the Geology of Cape Colony*, 2d ed. In-8°, London, 1909, p. 258-288.]

[6. Voir III, 3e partie, p. 957-982. On trouvera un historique très complet des travaux dont les fractures de l'Afrique Orientale ont été l'objet, avec bibliographie, dans le mémoire de Oskar-Erich Meyer, *Die Brüche bon Deutsch-Ostafrika, besonders der Landschaft Ugogo* (Neues Jahrb. f. Min., XXXVIII. Beilage-Bd., 1915, p. 805-881, pl. XXXIV-XLIV, dont 4 cartes et 1 pl. de coupes). Pour l'étude d'un volcan caractéristique de cette région, voir H. Reck, *Der Oldonyó l'Engai, ein tätiger Vulkan im Gebiet der Deutsch-Ostafrikanischen Bruchstufe* (dans l'ouvrage : *Branca-Festschrift.* Wilhelm Branca zum siebzigsten Geburtstage. Ein Festschrift seiner Schüler. Gr. in-8°, Leipzig, 1914, p. 373-409, 10 fig., pl. XII-XV).]

[7. En réalité, on ne connaît pas de volcans le long de cet accident, mais seulement des sources chaudes (III, 3e partie, p. 985). Pour la traînée oblique des volcans des Virunga, voir p. 963, fig. 218.]

[8. Voir III, 3e partie, p. 986-989.]

par tension, et l'enfoncement des bords a engendré les horsts allongés qui subsistent dans ces fossés.

Un de ces accidents, le graben Rhénan[1], est situé en dehors du Continent de Gondwana, au milieu des Altaïdes Occidentales; toutefois

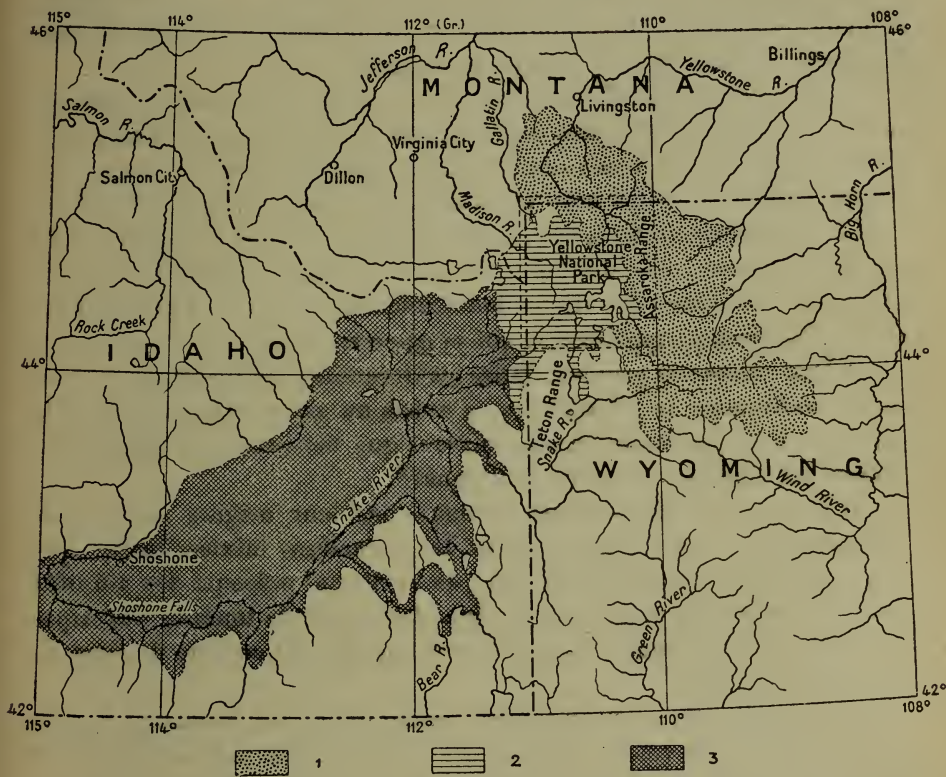


Fig. 376. — Extension des roches volcaniques entre Yellowstone et Snake (États River-Unis), d'après J. P. Iddings (*Quarterly Journal Geol. Soc. of London*, LII, 1899, pl. XXIX).
1. Ardésites (coulées, tufs et brèches) éocènes et miocènes; 2. Rhyolites pliocènes; 3. Basaltes pléistocènes et récents. — Échelle de 1 : 5 000 000.

sa direction est la même, et il y a lieu de penser qu'il est le résultat de tensions analogues.

Il est remarquable que la tendance des rejets simples à se transformer en fossés existe également dans le horst à carapace de l'Islande.

c) En fait de volcans disposés en *groupes*, on peut citer, à titre d'exemples, les Açores, les Iles Canaries[2] et la plus grande partie des

[1. Voir III, 2e partie, p. 580-584, fig. 107.]

[2. C. Gagel, *Die mittelatlantischen Vulkaninseln* (Handbuch der Regionalen Geologie, herausgegeben von G. Steinmann und O. Wilckens, 4. Heft (Band VII, 10). In-8°, 32 p., 18 fig., Heidelberg, 1910. Cet ouvrage renferme d'abondantes indications bibliographiques.]

Iles du Cap Vert[1]. Certains alignements permettent de reconnaître qu'il existe, là aussi, des fentes.

Dans le *domaine pacifique*, on connaît :

a) Des champs *diffus*; ceux-ci n'existent qu'en tant que le domaine boréal empiète, en venant du Nord, sur la Mongolie et la partie septentrionale de l'ancien faîte. Toutefois, il est possible que les basaltes de Mongolie rentrent dans la catégorie suivante.

b) Des volcans greffés sur des *lignes disjonctives*. C'est à eux que revient le rôle principal dans tout le domaine pacifique, dans l'ensemble de la périphérie de l'Asie comme dans l'édifice des Andes[2]. Nous rangerons également ici les arcs volcanisés des deux chaînes d'Antilles[3].

Les observations qu'il est possible de faire sur les Océanides sont, malheureusement, très discontinues. Autant que l'on peut s'en rendre compte, les relations des alignements volcaniques avec les avant-fosses et les plissements rappellent ce qui se passe en Asie[4].

c) Des *volcans en groupes*. Entre les Océanides, les Iles Hawaii et les côtes occidentales de l'Amérique, il existe un espace dans lequel, à la place des arcs pacifiques, n'apparaissent que des archipels irréguliers, comme les Galapagos et l'Ile de Pâques[5].

d) Les volcans des *Alpides* forment, par leur origine même, une division à part. On y trouve réunis des caractères mixtes; tandis que la petite traînée d'andésite du Sud de la Styrie[6] présente des affinités avec les Andes, de même que la grande traînée de tonalite des Alpes Orientales, les Iles Lipari[7] peuvent être considérées comme un type de volcans en groupe.

Quoique les divisions indiquées comprennent de beaucoup le plus grand nombre des volcans pacifiques, et notamment tout le « cercle de feu » qui entoure le Grand Océan, il existe cependant des gisements isolés, grands et petits, qui ne rentrent pas dans cette classification. Nous citerons d'abord la traînée volcanique recoupant obliquement la direction générale des chaînes plissées, qui, du Yellowstone, s'étend à travers le bassin du Snake River et de la Columbia (fig. 376)[8]; puis

[1. Imm. Friedländer, *Beiträge zur Kenntnis der Kapverdischen Inseln. Die Ergebnisse einer Studienreise im Sommer 1912*. In-4°, XII-109 p., 1 carte géol. générale, 10 cartes particulières et 19 pl. contenant 40 phot., Berlin, 1913 ; renferme, p. 100-109, un appendice pétrographique par W. Bergt.]

[2. Voir III, 3e partie, p. 1207-1360.]

[3. III, 3e partie, p. 1285-1299 et 1344-1357.]

[4. III, 3e partie, p. 1011-1019.]

[5. III, 3e partie, p. 1059, 1060.]

[6. III, 1re partie, p. 454, 455, fig. 74, et 468, fig. 76.]

[7. I, p. 110-112, fig. 11 et 12.]

[8. I, p. 801; III, 3e partie, p. 1151 et suiv., et fig. 262. Consulter, en outre, J. P. Iddings, *Extrusive and intrusive igneous rocks as products of Magmatic Differentiation* (Quart. Journ. Geol. Soc. London, LII, 1896, p. 606-617, pl. XXIX : carte, reprod. ci-dessus, fig. 376).]

les volcans qui entourent les bords des Plateaux du Colorado[1] : pour ceux-ci, notamment au Sud-Est, près de l'extrémité des Montagnes

Fig. 377. — Alignements volcaniques de la Chaîne des Puys d'Auvergne, d'après Ph. Glangeaud (*Bull. Service Carte Géol. de la France*, XXII, 1912-1913, n° 135, p. 35 (275), fig. 7).

Échelle de 1 : 100 000. — Le grisé représente les dépôts tertiaires de la Limagne.

Rocheuses[2], on ne peut discerner s'il y a analogie tectonique avec les volcans des Basin Ranges; enfin, les deux cimes volcaniques du

[1. Voir la récente monographie de H. H. Robinson, *The San Franciscan Volcanic Field, Arizona* (U. S. Geol. Survey, Professional Paper 76). In-4°, 213 p., 36 fig., 14 pl. dont 2 cartes géol. et 1 pl. de coupes, Washington, 1913.]

[2. Sur ce grand district volcanique (Monts San Juan; I, p. 759), voir le *Geologic Atlas of the United States* publié par l'U. S. Geological Survey, folios 57 (*Telluride*), 60 (*La Plata*), 120 (*Silverton*), 130 (*Rico*), 131 (*Needle Mountains*), 153 (*Ouray*) et 171 (*Engineer Mountain*), à l'échelle de 1 : 62 500. Levé géologique par Whitman Cross, assisté de

Caucase[1] et celle du Demavend dans l'arc du Sud de la Caspienne[2]; les volcans d'Auvergne, qui ont été mis par Michel-Lévy en rapport avec le rebroussement des plis Armoricains et des plis Varisques (fig. 377. 378); à l'intérieur de ces derniers, l'Eifel, les basaltes qui vont

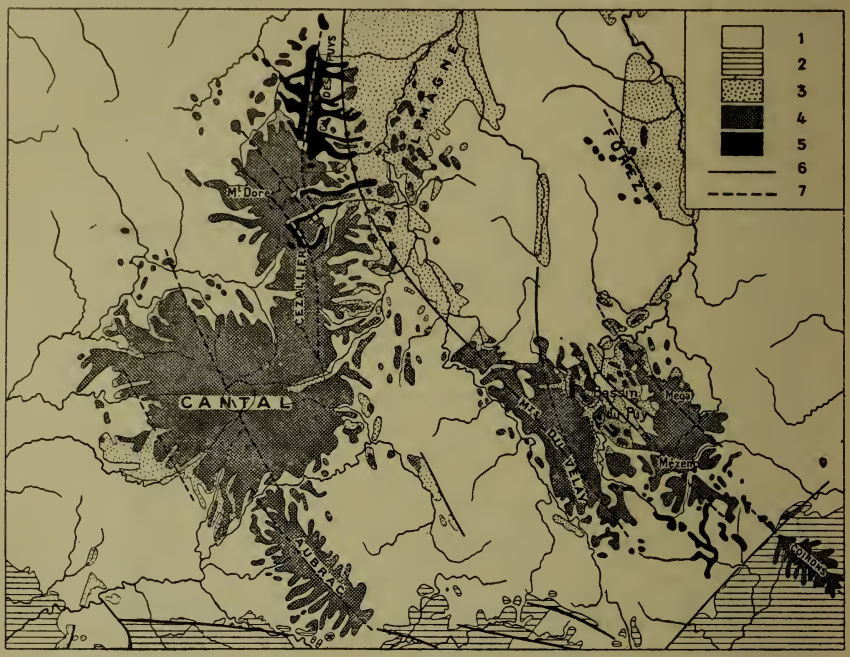


Fig. 378. — Fractures et massifs volcaniques du Centre de la France, d'après M. Boule (*Congrès Géologique International*, VIIIe Session, Paris, 1900. *Livret-Guide des Excursions en France*, n° X. pl. I, p. 36).

1. Granite, schistes cristallins et terrains primaires; 2. Permien et terrains secondaires; 3. Oligocène; 4. Formations volcaniques miocènes et pliocènes; 5. Volcans quaternaires; 6. Failles; 7. Alignements volcaniques principaux. — Échelle de 1 : 2 000 000.

du Vogelsberg jusqu'en Bavière et en Bohême, dont les plus récentes éruptions se trouvent en contre-bas de la fracture de l'Erzgebirge, mais qui réapparaissent dans l'Est sur les sommets du Riesengebirge et qu'on peut suivre jusqu'à Ostrau, où leurs filons ont été mis à découvert par l'exploitation des mines. Il faut encore citer ici les Monts

W. H. Emmons, A. D. Hole, E. Howe, J. D. Irving, C. W. Purington, J. L. Ransome et A. C. Spencer, Washington, 1899-1910. Chaque livraison comprend une notice détaillée, accompagnée de coupes et de photographies. — Consulter, en outre, les mémoires de C. W. Purington, *Preliminary Report on the Mining Industries of the Telluride Quadrangle, Colorado* (U. S. Geol. Survey, 18th Ann. Rept., 1896-97, part III, p. 745-850, pl. CII-CXVIII, dont 1 grande carte géol.) et de W. Cross and A. C. Spencer, *Geology of the Rico Mountains, Colorado* (Id., 21st Ann. Rept., 1899-1900, part II, p. 7-165, pl. I-XXII, dont 1 carte géol.).]

[1. Voir ci-dessus, III, 4e partie, p. 1424 et fig. 325, p. 1425.]

[2. III, 1re partie, p. 382, fig. 65.]

Euganéens[1] dans les Dinarides, puis le Mont Vulture[2], situé tout à fait exceptionnellement sur le bord externe de l'Apennin; enfin, dans l'Extrême-Orient, les volcans peu connus de Mergen (III, 1re partie, p. 170), et beaucoup d'autres.

Nous manquons de renseignements et de place pour discuter en détail chacune de ces exceptions. Contentons-nous de poursuivre l'examen de ce remarquable phénomène naturel dans ses traits principaux et, autant du moins que la chose est possible, de faire un pas dans l'intelligence des rapports existant entre l'hémisphère atlantique et l'hémisphère pacifique du Globe.

Alignements volcaniques. — L'étude de la Lune fait connaître les effets de la fusion complète, immédiate, c'est-à-dire l'absorption totale de l'enveloppe : telle est la forme lunaire du volcanisme. La lithosphère terrestre, dans son état présent, est soumise à trois sortes de phénomènes, les *affaissements*, les *écroulements*, enfin les *plissements* et *déchirements*. Il y a lieu de séparer, plus nettement que cela n'a été fait jusqu'ici, les effondrements consécutifs aux ruptures des affaissements affectant de grandes surfaces.

On peut considérer avec Hoffmann, aux Iles Lipari, les trois alignements volcaniques qui convergent vers le centre de cet archipel comme autant de fentes radiales[3], ou bien l'on peut réunir, avec Bergeat, les deux lignes septentrionales en une courbe Ustica-Salina-Stromboli, parallèle au rivage calabro-sicilien (et dans ce cas, la ligne Salina-Vulcano-Etna demeurerait comme la seule ligne radiale); de toute façon, ce groupe d'îles se présente comme un champ de fractures en voie d'effondrement[4]. Nous disons : « en voie d'effondrement », car, depuis que l'on a décrit sa ligne d'ébranlement périphérique, des catastrophes dévastatrices s'y sont plusieurs fois reproduites.

Dans les autres groupes de volcans, les observations font défaut sur la périphérie; la plus grande partie en est constituée par des îles. On y rencontre des alignements volcaniques plus courts, par exemple aux

[1. Pour un résumé des connaissances acquises sur la structure et l'histoire des Monts Euganéens, voir l'ouvrage de F. v. Wolff, *Der Vulkanismus*, I. In-8°, Stuttgart, 1914, p. 315-319, avec reprod. de la carte géol. de M. Stark et bibliographie. Voir aussi M. Stark, *Geologisch-petrographische Aufnahme der Euganeen* (Tschermaks Mineralog.-Petrogr. Mitteil., N. F., XXVII, 1908, p. 399-588, 22 fig.); *Beiträge zum geologisch-petrographischen Aufbau der Euganeen und zur Lakkolithenfrage* (Ibid., XXXI, 1912, p. 1-80, 9 fig., pl. I : carte géol.); R. Lachmann, *Der Eruptionsmechanismus bei den Euganeentrachyten* (Zeitschr. Deutsch. Geol. Gesellsch., LXI, 1909, Monatsb., p. 331-340); W. Penck, *Geologische Beobachtungen aus den Euganeen* (Centrabbl. f. Min., 1910, p. 575-581 et 597-608).]

[2. Voir III, 2e partie, p. 863.]

3. I, p. 110, fig. 11 [et p. 111, fig. 12].

4. A. Bergeat, *Die äolischen Inseln* (Abhandl. Mathem.-phys. Cl. Kgl. Bayer. Akad. Wiss. München, XX, Abt. 1, 1900, p. 1-274, 26 fig., 24 pl. dont 8 cartes), *passim*.

Iles Canaries; la plupart de ces groupes sont vraisemblablement des champs de fractures analogues, locaux, et des toits de batholithes en voie d'enfoncement.

La situation exceptionnelle des Alpides, qui montrent souvent des bords internes pourvus de volcans, permet de présumer, d'une manière analogue, que la Méditerrannée Occidentale est constituée par des effondrements[1]. Un contraste très instructif nous apparaît ici. En laissant de côté la ligne Hohentwiel-Ries et la limite tout à fait différente de la Chaîne Carnique par rapport aux Alpes, les bords des effondrements au sein desquels les Alpides ont pris naissance ne sont jamais accompagnés de formations volcaniques récentes, pas plus là où ils appartiennent à la Plaine Russe que quand ils font partie du Massif Bohémien, des Altaïdes ou du Sahara[2]. Il y a plus. Les affaissements varisques possèdent des fractures bordières, dont ils n'ont pas déterminé eux-mêmes la formation, mais dont ils ont simplement profité, et qui, grâce à eux, sont devenus visibles (III, 2e partie, p. 580). Tel est le cas, par exemple, pour les « alignements de Karpinsky », devenant, dans la Bavière orientale, les fractures bordières des horsts varisques.

Les mêmes relations se retrouvent sur une bien plus grande échelle dans l'Océan Indien (III, 2e partie, p. 989). La fracture des Sahyadri, sur le côté Ouest de la presqu'île de l'Inde, s'étend sur 12 degrés de latitude et recoupe en partie des gneiss, en partie les laves du Dekkan, qui en sont indépendantes. Toute la côte Est de Madagascar forme sur 10 degrés de latitude une fracture presque rectiligne[3]. Ces deux lignes ne sont pas pourvues de volcans. La côte de Syrie, dont le tracé rectiligne est si différent de celui des autres parties du littoral de la Méditerranée et qui est si voisine de la fosse du Jourdain[4], est non moins frappante. Elle est aussi peu jalonnée par des volcans que le Sud-Est de la Méditerranée jusqu'à l'Ile de Chypre, à la Crète et à Malte.

Dans l'ensemble de ce vaste territoire, une tendance vers une disjonction subméridienne paraît exister à l'état latent; cette tendance est réveillée et mise à profit sur certains points par des affaissements, et ailleurs par des déchirures linéaires, mais non par ces deux ordres de phénomènes à la fois.

[1. Voir P. Termier, *Les problèmes de la Géologie tectonique dans la Méditerranée Occidentale* (Revue générale des Sc., XXII, 1911, p. 225-234, carte dans le texte).]

[2. Exception faite pour les pointements volcaniques récemment découverts par E.-F. Gautier dans la province d'Oran et par R. Chudeau dans le Sahara Occidental; E.-F. Gautier, *Un volcan pliocène au Cholt Tigri* (C. R. Acad. Sc., CLIX, 1914, 2e sem., p. 580-582); R. Chudeau, *Itinéraire Tombouctou-Taoudeni-Kidal et Gao* (Ibid., CLX, 1915, 1er sem., p. 178-180). — Sur le grand volcan marocain du Djebel Siroua, voir III, 2e partie, p. 689.]

[3. Voir III, 3e partie, p. 991, fig. 225.]

[4. I, p. 472, fig. 70; II, p. 725, fig. 121.]

La Mer Rouge et le Golfe Arabique sont des fossés[1] et possèdent des volcans[2]. L'état des choses, dans l'alignement du Mont Terror, paraît être analogue[3]. Dans l'Ouest, l'alignement du Cameroun se trouve en opposition avec le tracé de la côte et se prolonge nettement, au loin, en mer[4].

Les savants français ont déjà soupçonné une disjonction latente analogue en Afrique et l'ont rapprochée de la direction subméridienne des Saharides. Quelques renseignements isolés indiquent, il est vrai, que ces dernières, dans le Sud, s'infléchissent vers le S.W., à peu près parallèlement à la ligne du Cameroun[5]; mais les observations faites dans l'Est Africain ne parlent pas, actuellement du moins, en faveur d'une telle relation avec les plissements.

Ces constatations acquièrent une portée d'autant plus grande que, dans le domaine pacifique également, les alignements volcaniques restent partout à distance du bord externe des avant-fosses. Même un enfoncement de 8 ou 9 kilomètres de profondeur a pu s'y produire sans provoquer une éruption volcanique. On pourrait objecter que les avant-fosses sont creusées dans d'anciens avant-pays, devenus depuis longtemps rigides et peu favorables à l'activité volcanique; mais les fractures africaines ont précisément fait surgir, dans un ancien territoire de ce genre, de nombreux volcans.

Les écroulements locaux, les affaissements océaniques et les déchirures linéaires (*disjonction*) sont, d'après cela, des phénomènes indépendants et différents les uns des autres. Nous avons déjà répété plusieurs fois que la contraction de la Terre peut être ramenée à une composante radiale (*affaissement*) et à une composante tangentielle (*plissement*). Les profondeurs océaniques et aussi les avant-fosses sont les manifestations de la composante radiale, c'est-à-dire de l'affaissement, et non pas d'une chute dans des espaces vides, mais d'un affaissement dû à la diminution du volume planétaire.

L'affaissement océanique se décompose, à peu près, suivant le plan des tensions qui se produisent dans un revêtement d'asphalte, en multiples segments d'arcs étirés. Par suite de la contraction, un excédent s'isole dans l'enveloppe extérieure, en partie sédimentaire, de la Terre. La force tangentielle dispose cet excédent en plis de forme arquée[6], qui s'entassent et débordent sur les avant-fosses affaissées. Les arcs

[1. Voir III, 3e partie, p. 979, fig. 223.]
[2. III, 3e partie, p. 975, fig. 222.]
[3. III, 3e partie, p. 1009, fig. 230.]
[4. III, 3e partie, p. 986-989.]
[5. III, 2e partie, p. 676.]
[6. W. Hobbs, *Mechanism of formation of Arcuate Mountains* (Journ. of Geol., Chicago, XXII, 1914, p. 71-90, 166-188, 193-208, 39 fig.).]

se rencontrent en s'enchaînant ou en se rebroussant. Le mouvement grandit; sous la formidable poussée, les plis se resserrent; ils se renversent et se recouvrent, peut-être des surfaces listriques prennent-elles aussi naissance. En fin de compte se produit un plissement en retour.

Dans tous ces événements, les parties superficielles de la lithosphère jouent un rôle passif. Elles sont portées en avant, plissées et charriées, par suite de la contraction des parties plus profondes. La stratosphère et une partie considérable de l'enveloppe salique ne se plissent pas par elles-mêmes, mais *elles sont plissées*. D'ailleurs, cette partie extérieure de la planète montre aussi un phénomène qui lui est propre : elle *se déchire*.

On a vu, par la description des fractures Africaines, que ces déchirures procèdent de haut en bas. Ceci apparaît clairement dans leurs rapports avec les plissements. Dans l'Afrique Orientale et en Syrie, la direction des fossés est très probablement indépendante du plissement. Dans le graben Rhénan, elle l'est certainement[1]. Inversement, leur dépendance partielle relativement à la direction des plis est tout aussi certaine dans la plus grande partie de l'Asie.

Les parties intérieures de ce vaste continent sont traversées par des lignes disjonctives qui concordent sur de longues distances avec la direction des plis et qui, ailleurs, s'en écartent, tout en laissant se former un relief qui est, en gros, conforme à l'allure des plis. Ces lignes disjonctives donnent souvent naissance à des fosses, dans lesquelles on trouve des porphyrites avec des tufs et des brèches, du basalte et d'autres roches éruptives. Sur les bords du Vitim, il existe deux cônes récents de scories incohérentes et de laves[2]. Le massif montagneux de la Transbaïkalie doit à ces disjonctions la majeure partie de sa configuration actuelle[3]. Trois de ces fosses recoupent la Selenga. Le Lac Baïkal lui-même paraît formé de deux fosses réunies[4]; toutes les dépressions allongées et les horsts qu'on rencontre à partir du Dzapkhyn, qui vient de la Vallée des Lacs[5], et du horst de l'Altaïn-Nourou[6] jusqu'à la fosse de Liouktchoun[7] se sont formés entre de semblables lignes disjonctives. Il en est de même à l'Ouest. L'autonomie que ces lignes possèdent en certains cas apparaît de la manière

[1. Voir III, 2e partie, p. 581, fig. 107.]
[2. III, 1re partie, p. 66.]
[3. III, 1re partie, p. 70.]
[4. III, 1re partie, p. 72-75.]
[5. III, 1re partie, p. 122-125.]
[6. III, 1re partie, p. 128-135.]
[7. III, 1re partie, p. 211-215.]

la plus nette dans la fosse de l'Ebi-nor[1], qui recoupe obliquement l'Alataou Dzoungare[2].

Une influence, même partielle, du plissement sur la disjonction n'est compréhensible que si le mouvement de plissement est contemporain de la disjonction. Il est impossible d'admettre que les guirlandes d'îles aient été accompagnées à l'origine de fissures volcaniques rectilignes, et qu'elles n'aient pris leur forme arquée que lors du plissement. Les traînées volcaniques, apparaissant toujours à l'intérieur des régions de déversement des plis, se trouvent de ce fait coïncider avec les lignes le long desquelles les séries plissées ont été soumises au maximum d'effort. Mais elles ne sont pas produites par le plissement; elles rappellent beaucoup plutôt les lignes dues à la résolution des tensions superficielles dans l'asphalte[3], et l'allure autonome de leurs prolongements atteste leur indépendance.

Elles se composent soit de lignes simples, soit de lignes doubles parallèles (par exemple dans l'Ecuador[4]), ou même un plus grand nombre de lignes viennent s'y rattacher (par exemple dans l'Ouest de Java[5]). Entre ces lignes se forment des fossés, à l'intérieur ou au bord desquels apparaissent les volcans; tel est le cas pour le groupe du Wrangell[6], pour les volcans des Iles Aléoutiennes dans le Cook Inlet[7], ceux de la « Fossa magna » de Honshiu[8], et peut-être aussi ceux de Mindanao[9]. Les arcs volcaniques sont situés, sans exception, dans la zone qui, par rapport au plissement, regarde l'avant-pays, depuis le groupe du Wrangell jusqu'à Santorin, et ils restent toujours indépendants des avant-fosses. L'autonomie de la disjonction est bien mise en évidence par la prolongation de la ligne des Kouriles, obliquement à la direction de Hokkaido[10], et par l'empiétement des volcans des Iles Riou-Kiou sur la partie méridionale de Kiou-Siou[11].

Des faits analogues se retrouvent dans la Chaîne Intermédiaire de l'Amérique[12] et dans l'Édifice Andin. Volcans et fossés se poursuivent

[1. Voir III, 1re partie, p. 208.]

[2. Consulter l'ouvrage de V. A. Obroutchev, *La Dzoungarie frontière. Rapports sur les voyages accomplis par — et ses compagnons en 1905, 1906 et 1909* (en russe). I, fasc. I. In-4°, XLI-425 p., 45 fig., 52 pl. phot., 2 cartes, Tomsk, 1912; et le mémoire du même savant : *A propos de l'Orographie et de la Géologie de la chaîne de Kalbin* (en russe). In-8°, 20 p., 1 carte tectonique, Tomsk, 1912.]

[3. Voir III, 4e partie, p. 1372, fig. 310 et 311.]

[4. I, p. 709, fig. 100; III, 3e partie, p. 1301, fig. 294.]

[5. II, p. 268, fig. 50.]

[6. III, 3e partie, p. 1172-1177, fig. 267 et 268.]

[7. III, 3e partie, p. 1130-1135.]

[8. II, p. 289 et 291, fig. 52 et 53.]

[9. III, 4e partie, p. 1394, et fig. 317, p. 1395.]

[10. III, 1re partie, p. 181, fig. 17, et p. 497, fig. 83.]

[11. III, 4e partie, p. 1400, fig. 320.]

[12. III, 3e partie, p. 1137, 1172-1206 et 1256-1263.]

de concert à travers les Basin Ranges, le Mexique et les Andes. Les Antilles Tropicales affectent la disposition en arcs périphériques de l'Asie[1]. Là, au contraire, où diminue l'influence du plissement, la ressemblance avec l'Afrique augmente. Les volcans Omotepec et Madera, dans le fossé du Lac de Nicaragua[2], se rangent à côté des volcans de l'Ile Höhnel, dans le fossé du Lac Rodolphe, et aussi à côté du Kaiserstuhl dans le graben rhénan.

Les lignes volcaniques des guirlandes insulaires se rattachent aux mêmes phénomènes que les lignes disjonctives de l'intérieur de l'Asie.

Il fallait, pour pouvoir discerner ce fait, connaître au préalable les lignes disjonctives de l'intérieur de l'Asie. On ne comprenait pas comment le plissement et la tension, qui représentent deux phénomènes diamétralement opposés, pouvaient subsister l'un à côté de l'autre. Dans le présent ouvrage, les arcs volcaniques ont d'abord été considérés comme des lèvres de fracture bordant de grands affaissements (voir notamment I, p. 602). Plus tard, F. von Richthofen fut tellement frappé du contraste entre les effets du plissement et ceux de la tension, qu'il attribua en principe aux guirlandes insulaires une structure différente. Dans le dernier des mémoires si documentés qu'il a fait paraître sur ce sujet, il est dit que les guirlandes d'îles ont une forme résultante analogue à celle du type alpin, mais qu'elles s'en écartent complètement au point de vue génétique : dans les Alpes, on remarquerait un débordement sur un avant-pays qui est presque toujours affaissé, sous l'action d'une force dirigée vers l'extérieur; dans les guirlandes d'îles, on noterait au contraire la tendance au retour en arrière de l'avant-pays et à une tension provenant d'au delà de la bordure extérieure[3].

Rothpletz avait vu dans les *graben*, un an auparavant, une preuve de dilatation, et admis que les phénomènes volcaniques persistent d'une façon constante sur toute la Terre, tandis que les plissements n'apparaissent que périodiquement; il pensait pouvoir concilier ainsi les vues contradictoires sur la dilatation et la contraction du Globe terrestre[4].

L'analyse précédente des arcs a toutefois montré que les traits caractéristiques de la constitution des guirlandes insulaires se reproduisent non seulement aux Aléoutiennes et aux Antilles, mais aussi

[1. Voir I, p. 725-737; III, 3e partie, p. 1285-1299; III, 4e partie, p. 1398.]

[2. III, 3e partie, p. 1277, fig. 290.]

3. F. von Richthofen, *Geomorphologische Studien aus Ost-Asien*, IV. *Über Gebirgskettungen in Ostasien, mit Ausschluss von Japan* (Sitzungsber. k. Preuss. Akad. Wiss., Berlin, 1903, II, p. 872).

4. A. Rothpletz, *Ueber die Möglichkeit den Gegensatz zwischen der Contractions- und der Expansionstheorie aufzuheben* (Sitzungsber. math.-phys. Cl. k. Akad. Wiss., München, XXXIII, 1902, p. 311-325)

dans l'Arc Birman et dans les arcs de bordure qui s'étendent jusqu'à la Mer Adriatique [1]. Ils se montrent aussi peu séparés dans l'espace qu'il l'ont été dans le temps; c'est, d'ailleurs, un fait généralement reconnu que le volcanisme le plus actif apparaît dans les chaînes de montagnes récentes. Et cependant on comprend difficilement comment, avec le temps, une voie d'ascension pour les laves peut se maintenir dans une chaîne en voie de plissement.

A ce problème, il y a deux solutions possibles.

La première se présente lorsque la disjonction est déviée dans la direction d'une surface de charriage, ou du moins quand elle suit en gros cette direction, sans préjudice, d'ailleurs, du retour éventuel à une direction différente, aux extrémités autonomes. Ce cas n'est pas invraisemblable en lui-même, car déjà la direction de la disjonction est une preuve de la grande influence du mouvement tangentiel. Sans doute, la disjonction, en se rapprochant des profondeurs magmatiques, peut se transformer en un faisceau de fentes très fines. Un certain nombre de ces fissures seraient choisies par les gaz juvéniles en pression, puis, sur quelques points privilégiés, mais non sur toute la longueur de ces fentes, s'ouvriraient des cheminées, comme le long de la cassure de Laki [2] en Islande (fig. 379). Ainsi peut prendre naissance une longue rangée linéaire de bouches

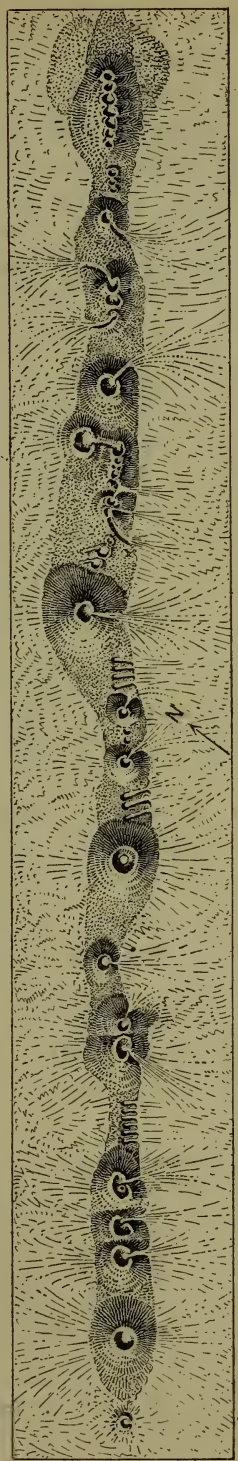


Fig. 379. — Fissure volcanique de Laki (Islande), d'après Amund Helland (*Lakis kratere og lavaströmme*. In-4°, Kristiania, 1886, planche finale).
Cratères alignés datant de la grande éruption de 1783 (partie sud-occidentale). — Échelle de 1 : 40 000.

[1. Voir III, 4e partie, p. 1409-1423.]

[2. III, 2e partie, p. 654. — Sur la fissure de Laki, consulter en outre K. Sapper, *Ueber einige isländische Vulkanspalten und Vulkanreihen* (Neues Jahrb. f. Min., Beilage-Bd. XXVI, 1908, p. 1-43, 4 fig., pl. I-VIII : phot. et cartes); F. v. Wolff, *Der Vulkanismus*, I. In-8°, Stuttgart, 1914, p. 410-420.]

d'éruption, dont la liaison profonde est indubitable, bien qu'elle ne soit reconnaissable à la surface que grâce à leur alignement.

Une seconde solution à examiner est offerte par les crevasses transversales des glaciers. Avec des parois verticales et rectilignes, elles traversent la masse visqueuse de la glace en mouvement. Elles se déplacent sur une certaine distance avec cette glace, subissent une courbure un peu plus marquée, et enfin se ferment; mais sur leur ancien emplacement naissent de nouvelles crevasses. Elles se maintiennent donc par voie de renouvellement.

Il y a des volcans qui se déplacent. Tant que ce déplacement ne se manifeste que par une diminution d'activité, comme c'est le cas pour le rétrécissement graduel des Champs Phlégréens, ou par un allongement de la ligne volcanique, comme aux Iles Hawaii, on peut ne pas en tenir compte. Mais sur les arcs eux-mêmes, il ne manque pas de traces du déplacement latéral, aussi bien sur une grande que sur une petite échelle. La traînée de trachyte quartzifère ou de dacite, caractérisée par des filons d'argent et d'étain, qui, sur six degrés de latitude, s'allonge du Lac Titicaca au territoire de la République Argentine [1], se trouve à l'Est de la direction des volcans des Andes et, à en juger d'après l'allure des plis, en avant de ceux-ci. Aux Antilles, la zone Anguilla-Désirade, avec ses laves anciennes [2], est située en dehors et en avant des volcans en activité. Le même phénomène paraît s'être produit à Sumatra (I, p. 602) [3]. Au contraire, les volcans Bogosslovsk et Grewingk, dans les Aléoutiennes [4], ont pris naissance à l'intérieur de l'arc, comme si une nouvelle ligne parallèle et assez proche tendait à se former.

Dans les volcans de l'Amérique Centrale, Dollfus et de Montserrat ont signalé des lignes transversales sur lesquelles l'activité volcanique paraît se rapprocher de l'alignement principal, dans la direction de la mer voisine. La ligne transversale située le plus au Nord, celle du Chiquimula, faisait seule exçeption. Depuis lors, l'éruption du volcan de Santa Maria a fait rentrer cette ligne septentrionale dans

[1. Voir III, 3e partie, p. 1313.]

[2. III, 3e partie, p. 1290.]

[3. III, 3e partie, p. 1131. Voir aussi T. A. Jaggar, jr. *The Evolution of Bogoslof Volcano* (Bull. Amer. Geogr. Soc., New York, XL, 1908, p. 385-400, 8 fig. dont 2 cartes).]

4. W. Volz, *Vorläufiger Bericht über eine Forschungsreise zur Untersuchung des Gebirsgsbaues und der Vulkane von Sumatra in den Jahren 1904-1906* (Sitzungsber. k. Preuss. Akad. Wiss., Berlin, 1907, I, p. 139). [Voir aussi les travaux suivant du même auteur : *Zur Geologie von Sumatra* (Geol. und Paläontol. Abhandl., N. F., VI, 1904, p. 87-196, 12 pl.); *Die geomorphologische Stellung Sumatras* (Geogr. Zeitschr., 1909, XV, p. 1-12, pl. 1, 2, dont 1 carte); *Nord-Sumatra. Bericht über eine im Auftrage der K. Preussischen Akademie ausgeführte Forschungsreise.* Bd. I. *Die Batakländer*; Bd. II. *Die Gajoländer.* 2 vol. in-8°, nombreuses fig. et pl., Berlin, 1909, 1912; *Der Malaiische Archipel, sein Bau und sein Zusammenhang mit Asien* (Sitzungsber. Physikalisch-Medizinischen Sozietät Erlangen, XLIV, 1912, p. 178-204, 1 carte).]

la règle commune (III, 3e partie, p. 1276); mais d'autres lignes transversales sont devenues douteuses : Sapper a signalé, en effet, de nouveaux points d'éruption, situés dans les intervalles. Sabatini suppose que, pour plusieurs des volcans romains, un recul analogue vers la mer peut être constaté[1]. La ligne transversale Ixtaccihuatl-Popocatepetl, au Mexique, montre un acheminement évident vers l'alignement principal (III, 3e partie, p. 1254). Jensen décrit un exemple moins important d'un déplacement sur des lignes transversales dans les montagnes trachytiques du Queensland[2].

A cela s'ajoute encore le fait, signalé notamment quand il a été question du Kamtchatka[3] et des Aléoutiennes, qu'il existe de nombreux volcans éteints à l'intérieur de la zone principale, mais (sauf en des points situés très près de l'arc, comme à l'Ile Bogosslovsk) aucun volcan actif. Toutes ces données sont encore insuffisantes pour prouver que le renouvellement des fentes volcaniques se fait à la façon des crevasses de glaciers. La reproduction de ces dernières est provoquée par une cause constante, d'ordinaire par la présence d'un gradin dans le soubassement rocheux; qu'une circonstance de ce genre puisse avoir une action dans les profondeurs du plissement, qu'elle soit provoquée, par exemple, par l'ouverture de fentes à la façon des lignes indiquées sur les figures 310 et 311, ou même, en fin de compte, qu'elle soit physiquement possible, c'est ce que nous ignorons jusqu'à présent d'une manière totale.

Les nombreux blocs de diorite que le volcan Bogosslovsk a projetés au dehors, dans ces dernières années, et les nombreux blocs d'amphibolite que le Santa Maria de Chiquimula a rejetés en 1902, rendent en tous cas évidente la réalité du déplacement des cheminées; mais si, des exemples isolés, l'on revient à une vue d'ensemble plus compréhensive, la grande diversité de la nature apparaît. Sur une ligne, on aperçoit seulement des points d'éruption séparés, analogues à la rangée de perforations que l'Esquimau pratique dans un bois de renne pour le fendre; sur une autre ligne, on découvre un batholithe allongé; sur une troisième, l'écorce terrestre est traversée par de longues fentes parallèles, suivant lesquelles s'encaissent des fossés qui peuvent être ou non accompagnés de volcans. Quand des *graben* de ce genre sont situés en dehors d'un plissement récent, comme en Afrique et

1. V. Sabatini, *I Vulcani dell' Italia Centrale e loro prodotti.* Parte 1a. *Vulcano Laziale* (Mem. descritt. della Carta geol. d'Italia, X, 1900. In-8°, xv-392 p., 79 fig., 11 pl. et 1 cart géol.; voir la note de la p. 32).

2. H. I. Jensen, *Geology of the Volcanic Area of the East Moreton and Wide Bay District, Queensland* (Proc. Linnean Soc. New South Wales, XXXI, 1906, p. 73-173, pl. V-XVI, dont 2 cartes géol.); voir, en particulier, p. 97 (la localité est située entre 27° et 28° de lat. S.).

[3. Voir III, 3e partie, p. 1090, et la carte, fig. 245, p. 1087.]

dans l'Asie Centrale, on ne remarque pas de déplacement bien net, quoique les lignes de l'Asie Centrale soient incurvées parallèlement à l'allure des plis. Dans ces deux régions, on rencontre aussi des *graben* sans volcans, comme aux abords du Tanganyka, au Lac Baïkal et dans la dépression de Liouktchoun. Le fait que, dans des régions de plissements récents, l'injection peut sortir des surfaces de charriage est démontré, notamment, par les exemples de la haute vallée de l'Indus[1] et de la zone d'Ivrée[2]. Il est extrêmement probable que les traînées d'amphibolite qui apparaissent dans le Nord, le long du chevauchement Calédonien, sont des injections de ce genre et que, par exemple, le gabbro à olivine du Sulitelma trouve son prolongement dans l'amphibolite du Tarrekaisse et du Sarjek, c'est-à-dire dans la zone charriée[3].

Mais quand la surface de charriage est aussi peu inclinée sur l'horizon que dans le cas précédent, elle ne peut pas devenir en même temps un chemin de sortie pour des éruptions. Ici encore, la nature ne souffre pas de catégories tranchées.

Tandis que, dans la zone d'Ivrée, l'injection à dose massive produite dans la direction du plissement (à l'encontre des Dinarides) et l'apparition de minerais de nickel sont les preuves de l'existence de cheminées au voisinage, dans l'Est, la zone tonalitique[4] permet de constater qu'une zone de disjonction existait vers la limite des Alpes, du côté de la Chaîne Carnique et des Dinarides, et que, plus tard, cette zone a été influencée par un refoulement venant du Sud[5]. La longue traînée parallèle de granitite qui accompagne la tonalite et, plus à l'Ouest, le champ de fractures de Lienz seraient des indices de cette disjonction. La zone tonalitique tout entière à été ultérieurement déversée vers le Nord et transformée en gneiss tonalitique. A ce déversement ne correspond pas encore la fin des phénomènes volcaniques, car les andésites du Sud de la Styrie, que nous envisageons comme faisant suite à la tonalite, sont plus récentes. On est encore loin, d'ailleurs, de comprendre parfaitement le phénomène, car il existe à une

[1. Voir ci-dessus, p. 1501 et suiv.]

[2. III, 2e partie, p. 736-746.]

3. Hj. Sjögren, *Om Sulitelma-områdets bergarter och tektonik* (Geol. Fören. i Stockholm Förhandl., XVIII, 1896, p. 346-376, en particulier p. 361); P. J. Holmquist, *En geologisk profil öfver fjellområdet emellen Kvikkjok och norske Kusten* (Ibid., XXII, 1900, p. 72-104, 151-177 et 232-272, pl. 3 : carte géol., en particulier p. 255); Hamberg, *Om fasta bergets geologi inom Sarjektrakten* (Ibid., XXIII, 1901, p. 18-23 et 26); pour des gisements analogues, voir surtout, outre les travaux déjà cités de Vogt, C. F. Kolderup, *Die Labradorfelse des westlichen Norwegens*, II (Bergens Mus. Aarbog, n° 12, 1903, 129 p., 3 pl. dont 1 carte géol.). [Pour des indications bibliographiques complémentaires, voir ci-dessus, p. 1498, note 2.]

[4. Voir III, 1re partie, p. 444-458.]

[5. Pour une rectification, voir ci-dessus, p. 1505, note 1 (études de M. Lugeon et G. Henny).]

grande distance dans le Nord, au Lac de Sankt-Wolfgang, des blocs de tonalite et de gabbro qui, selon toute vraisemblance, ont été transportés par charriage dans les schistes de Werfen, par conséquent au-dessus du plan de charriage austro-alpin, qui tectoniquement est situé plus bas que le plan de charriage dinarique[1].

Cherchons un autre exemple.

La dépression du Cook Inlet renfermait, à l'époque où se formait l'étage de Kenai, un lac d'eau douce, occupant un fossé[2]; un affaissement postérieur est survenu; les plis tertiaires qui bordent la mer vers l'Est peuvent s'expliquer en admettant des mouvements indépendants de la zone montagneuse située à l'extérieur de ce *graben*. Au delà du rebroussement, la Chaîne du Saint-Élie[3] et celle des Montagnes Rocheuses s'écartent au loin l'une de l'autre, et dans l'intervalle apparaît la plus grande cicatrice que l'on connaisse à la surface de la Terre, la granodiorite de Colombie[4]. On pourrait, allant encore au delà de la conception de F. von Richthofen, supposer un grand mouvement se propageant dans la direction du Pacifique (à peu près suivant la ligne *f a e* de la fig. 311; III, 3e partie, p. 1372); ceci répondant à l'hypothèse qui ferait imaginer un mouvement des voussoirs le long des cassures africaines à l'Est d'Ankober[5]. Mais trop d'énigmes et d'obscurités planent encore sur ces questions, pour que l'on puisse en poursuivre actuellement l'étude avec quelque utilité.

Laves atlantiques et laves pacifiques. — Le fait que, si l'on excepte les parties fracturées de l'Afrique, ni la Laurentia, ni le Brésil, ni l'un quelconque des autres avant-pays anciens, ni le Continent de l'Angara, ni l'Australie ne possèdent de volcans actifs, sur la terre ferme, a depuis longtemps attiré l'attention. Dans l'Amérique du Nord, en particulier, le contraste entre l'Est et l'Ouest a souvent préoccupé les géologues. La classification des dislocations associées à des volcans, formulée en 1898 par Michel-Lévy, distingue de même, en première ligne, les dislocations en régions plissées et celles en régions non plissées[6]. Mais, à cette époque, le fait de la dissemblance régionale des laves n'était pas connu.

En 1902, Becke[7] annonçait la découverte inattendue qu'on doit dis-

[1. Voir la note précédente.]
[2. III, 3e partie, p. 1121-1130.]
[3. III, 3e partie, p. 1180-1188.]
[4. III, 3e partie, p. 1177-1179.]
[5. III, 3e partie, p. 973.]

6. A. Michel-Lévy, *Sur la coordination et la répartition des fractures et des effondrements de l'écorce terrestre en relation avec les épanchements volcaniques* (Bull. Soc. Géol. de France, 3e sér., XXVI, 1898, p. 105-121, pl. I : carte).

7. F. Becke, *Das böhmische und das amerikanische Eruptivgebiet, ein chemisch-petrogra-*

tinguer deux types de roches volcaniques récentes, et que les régions avec plissements tangentiels dominants appartiennent à l'un (type des Andes), tandis que les régions avec dislocations radiales prépondérantes (cassures en voussoirs) appartiennent à l'autre (type du Mittelgebirge de Bohême).

Quelques mois plus tard, en 1903, Prior, indépendamment des travaux de Becke, arrivait aux mêmes conclusions à la suite de ses recherches sur les roches de l'Afrique Orientale[1], et, la même année, Becke faisait paraître un mémoire détaillé sur cette question : les deux types y étaient désignés sous les termes de *pacifique* et d'*atlantique*.

D'après ces travaux, il existe une série téphritique, atlantique, et une série andésitique, pacifique. La série atlantique est caractérisée par sa plus grande richesse en alcalis, principalement en Na^2, tandis que dans la série pacifique les alcalis diminuent et que Ca et Mg apparaissent en plus grande proportion. Les roches magnésiennes ultrabasiques (par exemple *crofesima*) paraissent être communes aux deux séries. Toutes deux possèdent également des termes acides.

D'après les données que l'on possède à l'heure actuelle, la série téphritique comprend l'Océan Atlantique, l'Afrique, l'Antarctide et une partie de l'Europe. Cette série règne à l'intérieur d'une courbe passant, à partir de Tristan d'Acunha, par la Trinidad, Fernando de Noronha, l'Ascension, le Cap Vert, Ténérife, puis Pantelleria, Aden et Madagascar. Toutes les fractures africaines, et même les venues isolées du Tchad et du Chari[3], en font partie, ainsi que le Transvaal. Dans le Sud, Kerguelen, le Gaussberg (d'après Philippi), le Cap Adare et le

phischer Vergleich (Verhandl. Gesellsch. Deutsch. Naturforsch. u. Aerzte, 74. Versamml. zu Karlsbad, 1902, 2. Theil, Sitzungen der Naturwiss. Abtheil., 22 Sept., p. 125-126). [La distinction d'une série « atlantique » et d'une série « pacifique », pressentie, dès 1892, par J. P. Iddings (*The Origin of Igneous Rocks*, Bull. Phil. Soc. Washington, XII, p. 184), a été formulée nettement, pour la première fois, en 1896, par A. Harker, dans un article intitulé : *The Natural History of Igneous Rocks, I. Their Geographical and Chronological Distribution* (Science Progress, VI, p. 12-33) ; reprise par le même savant en 1909 (*The Natural History of Igneous Rocks*. In-8°, London, p. 90-104), elle a, enfin, fait l'objet de sa part d'un nouvel exposé, en 1911, devant la *British Association for the Advancement of Science* (A. Harker, *Some Aspects of Modern Petrology : Presidential Address.*, Section C ; Rept. 80th. Meeting Brit. Ass. Adv. Sc., Portsmouth, 1911, p. 370-381 ; réimpr. dans : Nature, London, LXXXVII, p. 319-324).]

1. G. T. Prior, *Contributions to the Petrology of British East Africa* ; *Comparison of Volcanic Rocks from the Great Rift Valley with Rocks from Pantelleria, the Canary Islands, Ascension, St. Helena, Aden and Abyssinia* (Mineralogical Magazine, XIII, 1903, p. 228-263, pl. V) ; le même, *National Antarctic Expedition, 1901-1904. Natural-History*, I, *Geology*. In-4°, 1907, p. 122 et suiv.

[2. Voir H. I. Jensen, *The Distribution, Origin and Relationships of Alkaline Rocks* (Proc. Linnean Soc. New South Wales, XXXIII, 1908, p. 491-588, 13 fig.) ; R. A. Daly, *Origin of the Alkaline Rocks* (Bull. Geol. Soc. of America, XXI, 1910, p. 87-118).]

3. L. Gentil et Freydenberg, *Contribution à l'étude des roches alcalines du Centre Africain* (C. R. Acad. Sc., CXLVI, 1908, 1er sem., p. 352-355).

Sud de la Terre Victoria lui appartiennent. Prior y comprend Dunedin dans l'Ile Sud de la Nouvelle-Zélande, mais non l'Ile Nord du même groupe.

Au Nord de la Méditerranée, il faut faire rentrer dans ce groupe le Mittelgebirge de Bohême, le Rhön, le Vogelsberg, l'Eifel, le Höhgau, le Kaiserstuhl dans le *graben* Rhénan, et, plus au Nord, les Hébrides intérieures, les Færöer et l'Islande.

Des termes de passage, ayant donné lieu à des controverses, existent dans le Siebengebirge sur les bords du Rhin, à Gleichenberg en Styrie, à Predazzo et en Auvergne.

La série andésitique, pacifique, se présente à Santorin (Dinarides), dans les Carpathes et dans les andésites de l'extrémité orientale de la zone tonalitique des Alpes. Becke range le Vésuve et les Champs Phlégréens dans la série téphritique.

Tout l'entourage de l'Océan Pacifique, depuis la Nouvelle-Zélande jusqu'à Java et à l'Alaska, et toute la côte Ouest de l'Amérique rentrent dans la série andésitique. Là où les Antilles Septentrionales empiètent sur le domaine atlantique, les roches andésitiques s'avancent avec elles. Lacroix insiste sur la parenté des roches volcaniques des Petites Antilles avec les roches étudiées par Küch dans l'Ecuador et le Sud de la Colombie. Par contre, on connaît des roches téphritiques dans la région tabulaire du Texas.

Les roches téphritiques dominent également dans la partie orientale des États-Unis, tandis que, comme on l'a vu, les andésites apparaissent dans la partie occidentale. Quant aux roches des laccolithes et des coulées situées à l'Est des Montagnes Rocheuses, dans le Montana, Becke les considère comme représentant un faciès spécial de la série téphritique.

Bien qu'il y ait de nombreux points importants encore mal établis, le résultat d'ensemble est cependant déjà si saisissant (fig. 380), que l'on ne peut hésiter à accepter la distinction proposée et à désigner la série téphritique sous le nom de série « atlantique » et la série andésitique sous celui de série « pacifique ». Becke va même plus loin : n'utilisant pas ces expressions seulement au point de vue de la répartition géographique, il y voit, d'une part, le domaine des effondrements par contraction radiale (téphritique, atlantique) et, d'autre part, le domaine des plissements par rétrécissement tangentiel (andésitique, pacifique) [1]. De nombreuses

1. F. Becke, *Die Eruptivgebiete des böhmischen Mittelgebirges und der amerikanischen Andes. Atlantische und pazifische Sippe der Eruptivgesteine* (Tchermak-Becke, Mineralog. u. Petrogr. Mitteil., Neue Folge, XXII, 1903, p. 209-265). [Pour un résumé des faits acquis sur la nature et la répartition des roches du type « atlantique » et du type « pacifique », voir l'ouvrage de F. von Wolff, *Der Vulkanismus*, I. In-8°, Stuttgart, 1914, p. 131-160.]

circonstances plaident en faveur de cette manière de voir; telles sont l'apparition des andésites dans les Antilles, qui contraste avec la présence de roches téphritiques au Texas; la pénétration des andésites dans la Mer Egée, dans les Carpathes et dans certaines parties des Alpes. La nature téphritique des roches des environs de Naples n'est-

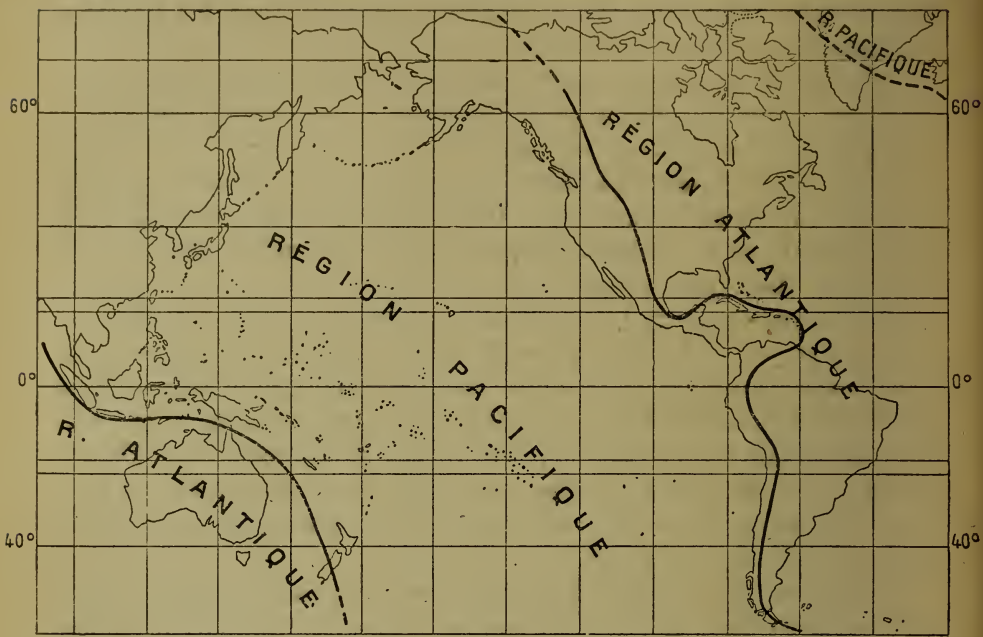


FIG. 380. — Distribution des roches « atlantiques » et des roches « pacifiques » récentes autour du Grand Océan, d'après A. Harker (*The Natural History of Igneous Rocks.* In-8°, London, 1909, p. 97, fig. 32).

elle pas aussi d'accord avec l'hypothèse d'un effondrement dans cette région?

La description de l'Ile de Java donnée par Verbeek et Fennema offre un exemple instructif. La zone volcanique y est formée de 116 volcans principaux. A côté de cette zone existe un territoire bien délimité de laves à leucite, téphritiques (III, 1re partie, p. 324). Ce domaine comprend cinq volcans, situés le long de la côte Nord-Est et sur l'île voisine de Bawean; il s'étend, d'après les données les plus récentes, jusqu'au delà de Saleijer, dans la partie méridionale de Célèbes. En même temps, une zone de grands fonds (— 5121 mètres) occupe la Mer de Flores, au Sud de Saleijer et des îlots voisins, qui sont également leucitiques, et les sépare des volcans leucitiques de Bawean et de Java. Et tandis que l'on croit pouvoir délimiter un territoire atlantique, indiqué peut-être aussi par les roches anciennes des Iles Karimoen Djawa, une éruption récente d'andésite à hornblende, la roche pacifique

de la zone principale, apparaît au jour dans un des cratères leucitiques de la côte Nord-Est, le Lourous[1].

Cette juxtaposition est peut-être en rapport avec la proximité de la limite entre les deux domaines; en tout cas, elle dénote une séparation tranchée des deux types de roches dans la profondeur.

Dans cet ouvrage, la nature téphritique des volcans du Mont Terror a déjà été considérée comme un argument pour attribuer le Sud de la Terre de Victoria à l'hémisphère atlantique; Gourdon a, de son côté, trouvé à l'Ile Wandel un bloc de granite riche en alcalis et l'a considéré comme une roche étrangère au domaine andin[2]. L'avenir montrera si c'est une trace de l'avant-pays atlantique. Les données tectoniques et pétrographiques se contrôlent réciproquement les unes par les autres; et l'on peut considérer la nature téphritique des îles atlantiques comme venant confirmer l'unité de constitution des rives atlantiques, de même que les roches andésitiques des Carpathes et des Alpes attestent la liaison de ces chaînes de montagnes avec l'Édifice Asiatique.

L'hypothèse de Becke repose sur la conjecture qu'il y aurait, dans les cheminées pacifiques, une absorption plus considérable de roches sédimentaires; d'où la plus grande richesse en Ca et Mg pour le type pacifique. Il y a lieu de prendre également en considération les données suivantes :

Dans l'hémisphère atlantique, la rigidité a dû faire des progrès décisifs à une époque récente. Vers la fin du Carbonifère, les Altaïdes Occidentales ont encore été plissées au travers de l'Océan, et le plissement des Montagnes du Cap s'est prolongé jusque dans le Trias inférieur. Mais plus tard, aucun plissement important ne s'est produit. depuis le Gange jusqu'au Cap Horn. Vers le milieu de l'ère tertiaire, les rides de l'écorce étaient déjà si bien figées que le graben Rhénan a pu s'ouvrir obliquement à la direction varisque. Dans la Laurentia, la consolidation définitive est encore bien plus ancienne, et au Sahara elle date au moins du Silurien supérieur.

La question se pose donc de savoir si la proportion moindre de Ca et Mg dans l'hémisphère atlantique n'est pas en corrélation avec les progrès de la rigidité (III, 4e partie, p. 1463). On peut se demander, ensuite, si ce

1. R. D. M. Verbeek et R. Fennema, *Description géologique de Java et Madoura*. 2 vol. in-8° et atlas in-f°, Amsterdam, 1896, p. 986 et suiv. et p. 1015; et R. D. M. Verbeek, *Rapport sur les Moluques. Reconnaissances géologiques dans la partie orientale de l'Archipel des Indes orientales Néerlandaises*. (Éd. française du Jaarb. v. h. Mijnw. in Ned. Oost-Indië, XXVII, wetensch. afd. In-8°, XLVI-844 p. et atlas in-f°, Batavia, 1908; en particulier p. 772, 773. Ce dernier ouvrage, très important, m'est parvenu trop tard pour être utilisé dans les chapitres précédents.

2. E. Gourdon, *Expédition Antarctique française (1903-1905), commandée par le Dr Charcot. Géographie physique, Glaciologie, Petrographie*. In-4°, Paris, 1908, p. 208.

serait l'affaissement des Altaïdes (qui a précédé la surrection posthume des Alpides) qui aurait provoqué la venue des roches pacifiques, tandis qu'en même temps des roches atlantiques surgissaient dans l'avant-pays. Mais, comme Becke le dit en toute raison, il faut d'abord examiner si cette séparation en roches atlantiques et roches pacifiques peut également être reconnue aux époques d'éruptions plus anciennes[1].

[1. Dans ces dernières années, de nombreuses objections ont éte élevées contre l'hypothèse de Harker, Becke et Prior, en particulier par J. Iddings (*Problems in Petrology*, Proc. Amer. Phil. Soc., L, 1911, p. 286-300), A. Lacroix (*Les roches alcalines de Tahiti*; Bull. Soc. Géol. de France, 4e sér. X, 1910, p. 91-124), J. W. Gregory (*The structural and petrographic Classifications of Coast-Types*; Scientia, XI, 1912, p. 36-63, 8 fig.) et Alb. Michel-Lévy (*Revue de Pétrographie*; Revue générale des Sc., XXIV, 1913, p. 501-507). Il semble démontré, en premier lieu, que la distribution réelle des deux grands types de roches éruptives ne justifie pas l'emploi des dénominations de *pacifique* et d'*atlantique* pour les désigner; de plus, leur répartition dans l'espace est loin de coïncider d'une façon rigoureuse avec celle des dislocations tangentielles, d'une part, et radiales, de l'autre; enfin, l'on constate que, pour une même région, les deux séries ont parfois alterné dans le temps. Pour ces diverses raisons, les géologues tendent à abandonner l'interprétation esquissée dans le présent ouvrage. — Sur une question qui se rattache étroitement à la précédente, celle des « provinces pétrographiques », on peut consulter l'exposé critique de M. Stark, *Petrographische Provinzen* (Fortschritte der Mineralogie, Kristallographie und Petrographie, herausg. im Aufrage der Mineralogischen Gesellschaft von G. Linck, IV, Jena, 1914, p. 251-336; renferme, p. 312-336, une liste bibliographique comprenant 533 art.).]

CHAPITRE XXVI

LA LUNE. — QUESTIONS THÉORIQUES. COUP D'ŒIL GÉNÉRAL[1].

I

La Lune. Relief comparé de la Terre et de la Lune; données fournies par la photographie. — Grandes régions de fusion. Remparts circulaires; parallèle avec les volcans des Iles Hawaii. — Cratères chevauchants. Rayonnements de Tycho. Cônes de projections, fosses et fractures. Cirques et cratères jumeaux. Évolution du volcanisme lunaire. La *Vallée des Alpes* et le *Mur Droit.* Accidents rectilignes.

Bassins marins lunaires et terrestres. Origine des Océans. Rôle des affaissements; comparaison avec l'Islande et la Calabre. — Phases successives de la consolidation de l'écorce lunaire. Hauteur moyenne des Continents et profondeur moyenne des mers; l'hypothèse de leur permanence doit être écartée. — Remplissage des « mers » par les laves. Hypothèse météoritique. Importance des éruptions sous-marines.

Séparation de la Lune et ses conséquences. La plate-forme continentale; déplacements récents des lignes de rivage et variabilité corrélative de l'aplatissement des pôles. — Influence retardatrice des marées sur la vitesse de rotation; recherches de H. Poincaré et de G. H. Darwin; la « poire » de Jacobi. Actions réciproques de la Terre sur la Lune et de la Lune sur la Terre. Traces de l'ellipsoïde primitif. « Harmoniques sphériques » de Love. — Comparaison avec les météorites vitreuses. Densité de la Lune. Anciennes surfaces d'abrasion. La direction des chaînes de montagnes dans ses rapports avec la rotation de la Terre. — La surface du Globe porte l'empreinte de plusieurs plans successifs. Déformations de la planète et dislocations de son écorce.

La Lune. — Le satellite qui accompagne notre planète n'est autre chose qu'un morceau de celle-ci. Les altitudes peuvent atteindre sur la Lune 7000 mètres. On cite cette mesure pour les escarpements intérieurs de Casatus et de Newton, à l'extrême bord Sud de la Lune. L'ombre qui se projette dans le cratère Théophile décèle un précipice de 5 500 mètres, et le sommet de Huyghens, dans les Apennins lunaires, atteint une égale hauteur. On peut en outre constater des différences

[1. Traduit par Alb. Michel-Lévy et Emm. de Margerie.]

de coloration : à côté des plaines de laves sombres de la Mer des Crises, de la Mer de la Tranquillité, etc., apparaissent des points brillants, comme Aristarque, et de longs rayons blancs, partant de Tycho, de Copernic, etc.

Si l'on veut établir un parallèle entre la Terre et la Lune, il faut par la pensée, écarter de notre globe non seulement l'atmosphère qui intercepte en partie la lumière solaire, mais aussi les calottes de glaces des pôles, les champs de neige des hautes montagnes, la végétation et la couverture d'humus, enfin toute l'eau des océans et tous les effets de l'érosion et de l'abrasion. La face de la Terre, ainsi mise à nu, montre aussitôt combien c'est à tort qu'on s'est habitué, en comparant la Terre et la Lune, à comparer des hauteurs absolues avec des hauteurs relatives. Les reliefs lunaires sont peut-être plus escarpés que ceux de la Terre ; mais ils ne sont pas plus importants.

Imaginons que nous nous élevions des profondeurs les plus grandes des océans jusqu'aux cimes montagneuses les plus élevées, et adoptons en même temps les chiffres publiés par H. Wagner[1]. Aussitôt que, dans cette ascension, nous avons atteint — 4 000 mètres, nous voyons déjà au-dessous de nous 39 °/₀ de la surface de la lithosphère. A — 3 000 mètres, la proportion est de 52 °/₀ : plus de la moitié de la surface planétaire se trouve donc au-dessous de — 3 000 mètres. Lorsque nous atteignons le rivage, ce rapport monte à 71,8 °/₀. Seulement 28,2 °/₀ de la surface totale demeure exondé, et il n'y a que 6 °/₀ de l'ensemble qui dépasse + 1 000 mètres. La somme des superficies de tous les reliefs terrestres est donc très peu importante, et celle des hautes montagnes l'est encore beaucoup moins.

Sous nos yeux, le Soleil du matin inonde de lumière la côte septentrionale du Chili, où la ligne de partage des eaux de l'Atacama s'élève presque de 13 kilomètres au-dessus des abîmes béants. L'écart, en partant de la cime du Llullaico, dépasse 14 kilomètres, mais les profondeurs sont trop éloignées pour que l'on puisse y discerner nettement la longueur entière de l'ombre portée, et le Soleil levant ne dessine aucune limite entre la fosse qui longe le rivage et les fonds de mer plus élevés. Au-dessus de ces dépressions, rangées en lignes courbes, s'élèvent des centaines d'îles, les unes en masses compactes, d'autres élancées comme des tours, d'autres encore effilées comme des minarets. Elles sont hautes de 4 à 5 kilomètres, de plus de 9 kilomètres même dans l'exemple de l'Ile de Guam ; et, à mesure que le jour s'avance, leurs ombres cheminent sous nos yeux comme les aiguilles d'autant de cadrans solaires gigantesques. Dans le Nord apparaît

1. H. Wagner, *Lehrbuch der Geographie*, 7. Aufl., In-8°, I, 1903, p. 254.

une tache sombre, le champ de basalte du Snake River et de la Columbia, et tandis que nous contemplons étonnés ce spectacle admirable, survient le crépuscule; plus loin encore, au Nord, se montre une tache blanche, dans le Sud de l'Alaska. Elle s'étend de 60° 40′ lat. N. et 138° 30′ long. W. (glacier O' Connor, flanc Nord du Saint-Élie) jusque dans les vallées intérieures du Pelly, du Lewes et de la White River, et jusque vers 64° 30′ et 141° (Forty Mile District, bassin du Yukon). Ce sont les cendres blanches provenant du volcan Na-taz-hat (situé par 61° 30′ lat. N. et 141° 30′ long. W. environ), qui apparaîtraient si l'on enlevait le sol forestier[1]. Avant la nuit noire, l'ombre du Foujiyama nous révèle encore une hauteur de 11 kilomètres.

Les travaux si consciencieux et si méritoires qu'ont entrepris, pour représenter par le dessin la surface de la Lune, Maedler, Julius Schmidt et d'autres observateurs, sont maintenant dépassés, grâce à la photographie. L'*Atlas photographique de la Lune* de Lœwy et Puiseux, publié par l'Observatoire de Paris, renferme, en particulier, un trésor de connaissances nouvelles[2]. Il faut citer en outre la collection de clichés

1. III, 3e partie, p. 1174; voir aussi A. H. Brooks, *A Reconnaissance from Pyramid Harbor to Eagle City, Alaska* (21st Ann. Report U. S. Geol. Survey, 1899-1900, part 2, p. 365). Schwatka, le premier, a remarqué ces cendres sous la forme d'une traînée blanche interrompant le sol des forêts. Sur un grand nombre de points, elles n'ont guère plus de un pouce à un pied d'épaisseur; en allant vers les Monts Skolai, elles atteignent jusqu'à 100 pieds. [Voir Stephen R. Capps, *An ancient volcanic eruption in the Upper Yukon Basin* (U. S. Geol. Survey, Professional Paper 95-D. In-4°, p. 59-64, pl. VI, Washington, 1915).]

2. M. Lœwy et P. Puiseux, *Atlas photographique de la Lune publié par l'Observatoire de Paris. Études fondées sur les photographies de la Lune obtenues au grand équatorial coudé*, Paris, 1896 et années suiv. Ont paru jusqu'en 1908 : 59 cartes in-folio et 10 fascicules de texte in-4°. M. Lœwy n'a malheureusement pas pu vivre assez longtemps pour voir achever ce bel ouvrage. [La publication complète, terminée en 1910, comprend 71 pl. in-folio, en héliogravure (I-LXXI), exécutées d'après les agrandissements sur verre d'autant de clichés des années 1894 à 1909, 11 pl. reproduisant des images directes obtenues au foyer du grand équatorial coudé (pl. *a-k*), et 1 tableau d'assemblage (pl. *l*), avec 12 fascicules in-4° de texte explicatif. Un treizième fascicule supplémentaire de 22 p. renferme un « Index général des formations lunaires représentées ou étudiées » dans l'ouvrage. — Ce magnifique Atlas étant peu accessible au public, en raison de son prix élevé, la Société Belge d'Astronomie a eu l'heureuse idée d'en donner une édition plus maniable, reproduisant à une échelle réduite aux 2/5 tous les agrandissements photographiques de MM. Loewy et Puiseux. Ce nouvel *Atlas lunaire*, dont les planches, établies en similigravure, ont paru successivement, accompagnées de notices, dans le *Bulletin de la Société Belge d'Astronomie* (réuni, depuis 1911, avec le Recueil intitulé : *Ciel et Terre*), a également été mis en vente, sans texte, par fascicules dont le contenu est semblable à celui des livraisons du grand Atlas parisien. — Un troisième *Atlas lunaire*, dont les éléments photographiques ont été également obtenus à l'Observatoire de Paris, par M. Le Morvan, et dont les planches sont d'une finesse qui n'avait jamais encore été atteinte, est en cours de publication depuis 1913. On peut consulter, à son sujet, l'article de Ch. Nordmann dans l'*Illustration* du 26 avril 1913 (71e année, n° 3661 : *Une promenade dans la Lune*, 8 p., 10 fig. dont 7 magnifiques phot. d'après les clichés de M. Le Morvan).] — Les idées que j'exprime ici au sujet de la fusion et du volcanisme lunaire ont été livrées à la publicité dès 1895 (Ed. Suess, *Einige Bemerkungen über den Mond*; Sitzungsber. K. Akad. Wiss. Wien, Mathem.-Naturwiss. Cl., CIV, Abth. 1, 1895, p. 21-54). M. Puiseux s'y est rallié sur les points essentiels (P. Puiseux, *La Terre et la Lune*.

des Observatoires Lick et Yerkes, publiée par la Smithsonian Institution, et dont Shaler a rédigé le commentaire[1]. Je ne citerai ici que quelques particularités, et tout d'abord les faits relatifs aux phénomènes volcaniques.

Grandes régions de fusion. Les prétendues « mers » de la Lune sont essentiellement des étendues déprimées de laves solidifiées, de contours réguliers, arrondis ou ovales, nettement circonscrites, quoique débordant parfois sur les dépressions voisines, comme c'est le cas au bord de la Mer des Humeurs[2], dont la lave s'écoule dans plusieurs cratères plus anciens et en inonde d'autres. La rencontre des formes circulaires peut d'ailleurs donner lieu à des contours plus irréguliers; mais de nombreux accidents typiques, comme l'ellipse de la Mer des Crises (570 et 450 kilom.)[3], ou la façon dont le Golfe des Iris (215 kilom.)[4] se rattache à la Mer des Pluies[5], montrent clairement la forme normale. Dans la Mer du Nectar[6], Lœwy et Puiseux distinguent

Forme extérieure et structure interne, Paris, 1908. In-8°, 176 p., 52 fig. ou pl., 2 cartes; voir notamment p. 139). Par contre, les faits constatés depuis m'ont appris qu'en ce qui concerne les rayons de Tycho, etc., l'interprétation admise par Lœwy et Puiseux est plus exacte. [Consulter, en outre, le mémoire suivant de P. Puiseux : *Recherches sur l'origine probable des formations lunaires* (Annales de l'Observatoire de Paris, XXII, 1896, p. 1-66, pl. I-XV : phot.), et les notes plus récentes du même auteur : *Sur l'histoire du relief lunaire* C. R. Acad. Sc , CXLVII, 1908, 2e sem., p. 113-116); *Interprétation physique et historique de quelques traits de la surface de la Lune, d'après les feuilles du onzième fascicule de l'Atlas photographique publié par l'Observatoire de Paris* (Ibid., CXLVIII), 1909, 1er sem., p. 1744-1746); *De l'origine des contrastes de teintes et des dénivellations brusques qui se rencontrent sur la Lune* (Ibid., CXLIX, 1909, 2e sem., p. 195-196); *Sur la genèse des cirques et le tracé anguleux des crevasses lunaires* (Ibid., CLI, 1910, 2e sem., p. 133-135).] — F. Sacco a reproduit plusieurs des planches de l'*Atlas photographique de la Lune* dans son *Essai schématique de Sélénologie*. In-8°, Turin, 1907, 47 p., 4 pl. [Voir aussi son article, intitulé : *Selenologie oder Mondkunde*, dans le *Handwörterbuch der Naturwissenschaften*. In-8°, IX, Jena, 1913, p. 1, fig.]. Il est impossible d'énumérer ici tous les travaux récents qui se rapportent à la Lune. [Parmi les plus importants, on peut citer : Siegmund Günther, *Vergleichende Mond- und Erdkunde*. In-8°, IX-193 p., 23 fig., 4 pl. Braunschweig, 1911 (Die Wissenschaft, Sammlung naturwiss. u. mathem. Monographien, Heft 37); H. Ebert, *Beitrag zur Physik der Mondoberfläche* (Sitzungsber. mathem.-phys. Cl. k. b. Akad. Wiss., München, XXXVIII, 1908, p. 153-180, pl. I); G. Dahmer, *Die Gebilde der Mondoberfläche* (Neues Jahrb. f. Min., 1911, I, p. 89-112, pl. VI-VIII), et *Die Entstehung der Kraterfelder des Mondes* (Ibid., 1912, II, p. 42-44, pl. VI); F. v. Wolff, *Der Vulkanismus*, I. In-8°, Stuttgart, 1914 (p. 639-679 : « Der lunare und kosmische Vulkanismus », avec bibliographie).]

1. N. S. Shaler, *A Comparison of the Features of the Earth and the Moon* (Smithsonian Contributions to Knowledge, XXXIV, 1903. In-4°, v-130 p., 25 pl. phot.). [Voir aussi L. Weinek, *Selenographical Studies based on Negatives of the Moon taken at the Lick Observatory* (Publications of the Lick Observatory of the University of California, III, Sacramento, 1894. In-4°, p. 1-130, 14 pl.); W. H. Pickering, *Photographic Atlas of the Moon* (Annals Harvard College Astronomical Observatory, II, 1903. In-4°, 86 pl.); le même, *The Moon. Summary of our Recent Advances in our Knowledge of our Satellite*. In-4°, 116 p., 100 fig., pl. London, 1904.]

[2. P. Puiseux, *La Terre et la Lune*, fig. 34, 50; — *Atlas phot.*, pl. VIII, XIX, XXX, XL, LIV, LV, LVI, LXI.]

[3. Puiseux, fig. 32; — *Atlas phot.*, pl. XXI, XXVII, XXIX, XLVII.]

[4. *Atlas phot.*, pl. XI, XXXIV, LIII, LVIII, LIX.]

[5. *Atlas phot.*, pl. IX, X, XI, XIII, XXIII, XXXIV, LVIII, LXIX.]

[6. Puiseux, fig. 33; — *Atlas phot.*, pl. XXVII, XXXI, XXXII, XXXVIII, XLV, LXIII.]

cinq dépressions successives, qui donnent un total de quelques milliers de mètres de profondeur. Il s'est formé des horsts cunéiformes aux points de recoupement de deux contours. Tels sont le Cap Héraclide[1] et le Cap Laplace[2], à la limite du Golfe des Iris du côté de la Mer des Pluies, et, sur une plus grande échelle, les Apennins[3] et les

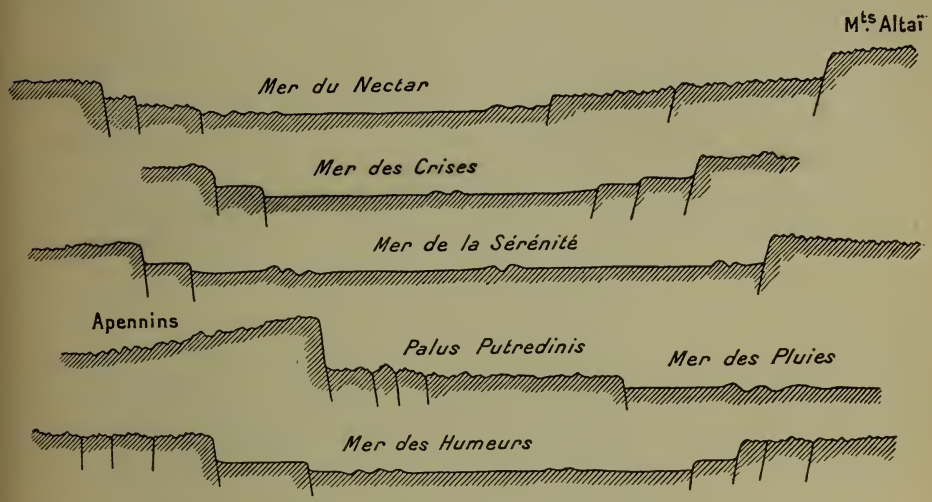


Fig. 381. — Coupes à travers l'écorce de la Lune, d'après F. Sacco (*Essai schématique de Sélénologie*. In-8°, Turin, 1907, pl. I).

Carpathes[4], entre la Mer des Pluies et la Mer de la Sérénité[5], qui est presque circulaire.

Les batholithes terrestres nous apprennent comment, à l'intérieur du Globe, une masse surchauffée par un afflux continuel de chaleur peut, en prenant l'état liquide, se rapprocher de la surface. Celle-ci une fois atteinte, il se formera, comme nous le voyons sur la Lune, une plaine de lave dont la figure doit se rapprocher de celle d'une calotte sphérique, étant donné le diamètre plus petit de cet astre. Les fractures d'affaissement périphériques régulières, qui entourent la Mer des Humeurs à une certaine distance de son contour, et d'autres cas analogues (fig. 381) montrent cependant que, dans ces exemples, l'affaissement circulaire a été plus étendu que la surface de la lave.

Ces ascensions de matière fondue sont, sur la Lune, très significa-

[1. *Atlas phot.*, pl. XI, LVIII, LIX.]
[2. *Atlas phot.*, pl. XI, XXXIV, LIII, LVIII, LIX.]
[3. Puiseux, fig. 36; *Atlas phot.*, pl. V, X, XV, XVI, XXII, XXIII, XXXIV.]
[4. *Atlas phot.*, pl. IX, XV, XVI, XXXIV.]
[5. *Atlas phot.*, pl. V, X, XIII, XXII, XXIII, XXVII, XXVIII, XXXV, XLVII, LXV.]

tives, et permettent de reconnaître en même temps combien, dans la nature, la marche du refroidissement est loin d'être régulière. L'action renouvelée de hautes températures dans des régions déjà solidifiées a été un phénomène fréquent dans l'histoire de la Terre et de la Lune, et l'on ne sait pas si les enveloppes refroidies de la Terre ne sont pas exposées, encore aujourd'hui, dans les profondeurs, à de pareilles atteintes.

Les *remparts circulaires*, c'est-à-dire les aires de fusion plus petites, apparaissent comme le trait le plus frappant sur la face de la Lune. Au centre d'une surface s'élevant en pente très douce, ou même tout à fait plane, s'ouvre un vaste abîme dont les parois abruptes descendent par terrasses étagées, quelquefois jusqu'à plusieurs milliers de mètres de profondeur (fig. 382). Au fond s'étend un lac de lave solidifié; il

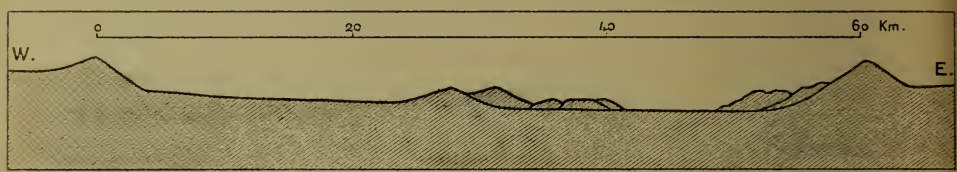


Fig. 382. — Coupe à l'échelle d'un cirque lunaire : Eratosthène, d'après L. Rudaux (*La Nature*, 40e année, 1912, 1er sem., p. 85, fig. 1).
Échelle de 1 : 600 000 (longueurs et hauteurs).

s'est souvent produit plusieurs effondrements successifs, qui, par exception, sont allés jusqu'à cinq. Ce lac de lave s'enfonce de plus en plus; presque toujours, ses dimensions diminuent avec chaque retour du phénomène, et le plus récent et plus petit peut finalement se trouver à plus de 5 000 mètres au-dessous du territoire environnant.

Lœwy et Puiseux voient avec raison dans le Golfe des Iris un type de transition entre les « mers » et les aires de fusion plus petites et plus nettement délimitées, dont Clavius[1] constitue un exemple, malgré ses 228 kilomètres de diamètre (fig. 383). Dès 1846, Dana les avait non moins justement comparées aux volcans des Iles Hawaii, et Pickering a publié une suite de photographies instructives qui ont été prises dans ces îles en vue de cette comparaison avec la Lune[2]. Là, il est vrai, le lac de lave du Mauna Loa occupe le sommet d'une masse géante de lave, masse qui se dresse à 4 175 mètres au-dessus du niveau

[1. *Atlas phot.*, pl. VII, XVII, XVIII, XLIV.]

2. Lœwy et Puiseux, *Atlas photographique de la Lune*, fasc. II, p. 54; J. D. Dana, *On the Volcanoes of the Moon* (Amer. Journ. of Sc., 2d ser., II, 1846, p. 335-355); W. H. Pickering, *Lunar and Hawaiian Physical Features compared* (Mem. Amer. Acad. Arts and Sc., XIII, n° 4, 1906, p. 151-179, pl. IX-XXIV).

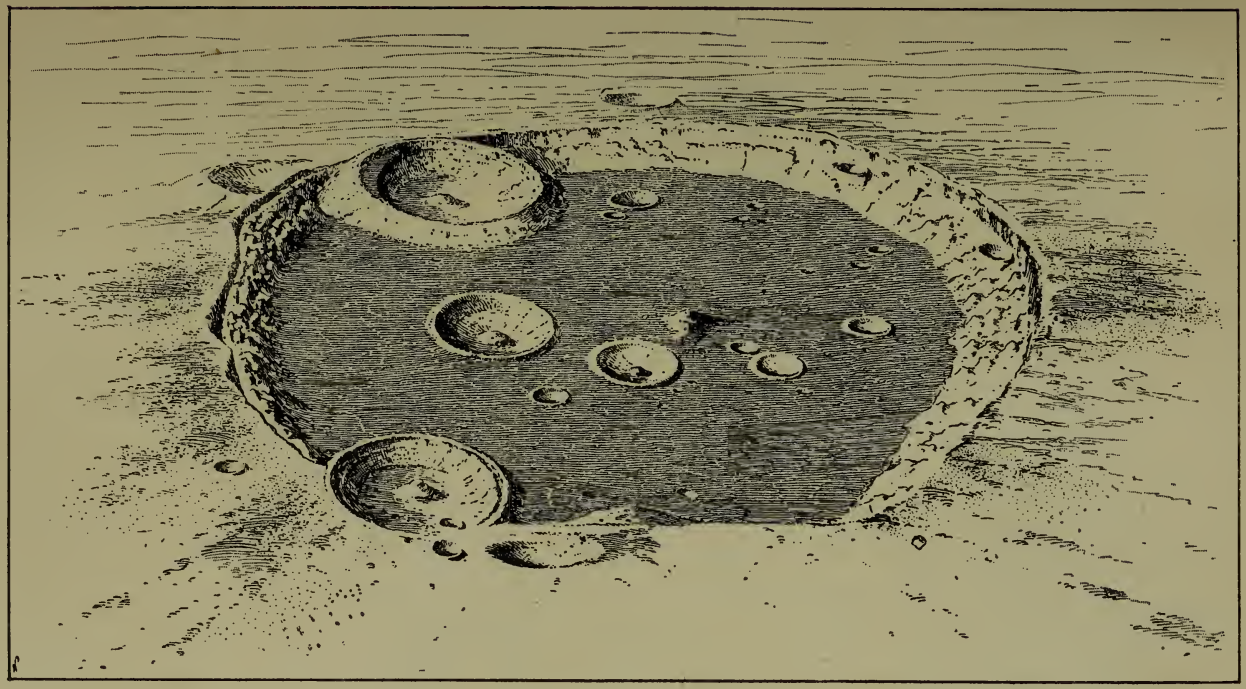


Fig. 383. — Un grand cirque lunaire : Clavius, d'après G. K. Gilbert (*Bull. Phil. Soc. of Washington*, XII, 1893, pl. 2, p. 241).

de la mer, et en réalité à 9 kilomètres au-dessus de sa base, et qui

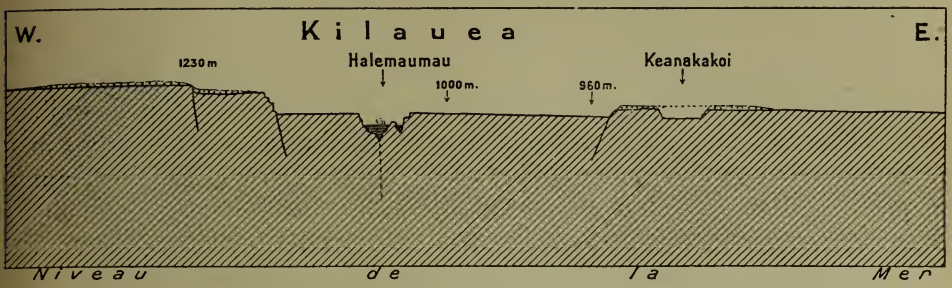


Fig. 384. — Coupe transversale du Kilauea (Iles Hawaii), d'après Arn. Heim (*Geologische Charakterbilder*, herausgegeben von Dr. H. Stille. In-4°, 16. Heft, 1913, Einleitung, fig. 2). Échelle de 1 : 50 000 (longueurs et hauteurs).

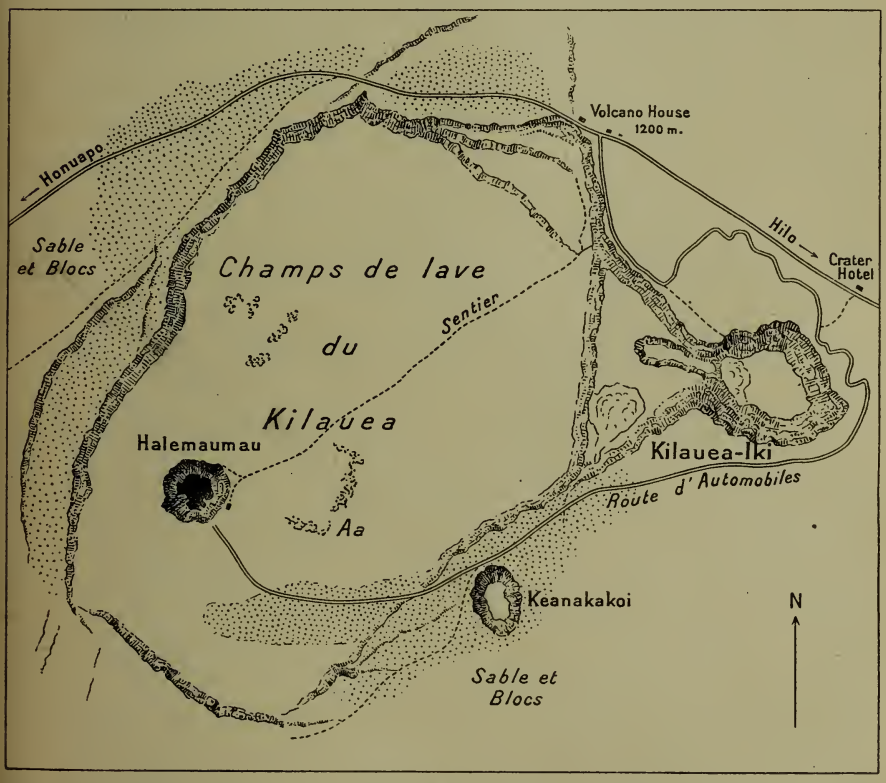


Fig. 385. — Cratère d'effondrement du Kilauea (Iles Hawaii), d'après H. F. Newton, reprod. par Arn. Heim (*Geologische Charakterbilder*, etc. In-4°, 16. Heft. Berlin, 1913, fig. 3). Échelle de 1 : 50 000.

s'abaisse en pente très douce dans toutes les directions. Un petit nombre de volcans lunaires, en particulier Wargentin[1], ont pu donner

[1. *Atlas phot.*, pl. XXX, LIV, LV, LXI.]

à leurs laves une force ascensionnelle assez grande pour leur permettre de s'écouler par-dessus les bords de leur cratère. Il est clair que si le nombre de ces volcans lunaires avait été moins important et leur force ascensionnelle plus grande, leurs épanchements renouvelés auraient produit des montagnes comparables à celles des Iles Hawaii.

Il ne faut pas oublier cependant qu'à côté du haut volcan qu'est le Mauna Loa se trouve le Kilauea, bien moins élevé (1 280 m.), qui possède également son lac de lave (fig. 384, 385), et que, pour une distance de moins de 30 kilomètres, à l'époque de la visite de Dutton, par exemple, en 1882, la différence de hauteur entre les deux lacs de lave incandescente n'était pas inférieure à 2 834 mètres [1].

Dans les volcans terrestres, il n'est pas rare qu'au rebord d'un grand cratère se superpose un cratère plus récent, presque toujours plus petit, disposé pour ainsi dire *à cheval* sur ce rebord. C'est ainsi que, dans les Champs Phlégréens, le cratère d'Agnano chevauche sur celui d'Astroni. Dans les Monts Albains, les cratères-lacs de Nemi et d'Albano sont assis sur les bords du cratère tusculan (fig. 386). Le Lac de Bolsena est entouré, d'après les recherches de Moderni, par quatre cratères, dont chacun a une histoire indépendante et qu'entourent les vestiges de 89 cheminées (en y comprenant les traces douteuses). Dans l'encadrement du Lac de Bracciano (fig. 387), Moderni compte 52 de ces bouches de sortie [2].

Il y a longtemps que l'attention des sélénologues a été attirée sur ce chevauchement des cirques plus jeunes sur le bord des cirques anciens.

1. C. E. Dutton, *Hawaiian Volcanoes* (4th Ann. Rept. U. S. Geol. Survey, 1882-'83, p. 75-219, pl. II-XXX, dont 8 cartes); en particulier p. 120. [Voir aussi le t. III du présent ouvrage, 3e partie, p. 1056, et 4e partie, p. 1471. — Consulter en outre : H. E. Crampton, *Two Active Volcanoes of the South Seas* (Amer. Museum Journ., X, n° 6, October, 1910, p. 171-180, 10 fig.); G. C. Curtis, *Work going on at Kilauea Volcano* (Science, New York, new ser., XXXVIII, 1913, p. 355-358); — et les travaux suivants de Frank A. Perret : *The Lava Fountains of Kilauea* (Amer. Journ. of Sc., 4th ser., XXXV, 1913, p. 139-148, 7 fig.); *The Floating Islands of Halemaumau* (Ibid., p. 273-282, 6 fig.); *The Circulatory System in the Halemaumau Lava Lake during the Summer of 1911* (Ibid., p. 337-349, 6 fig.); *Subsidence Phenomena at Kilauea in the Summer of 1911* (Ibid., p. 469-476, 6 fig.); *Some Kilauean Ejectamenta* (Ibid., p. 611-618, 7 fig.); *Some Kilauean Formations* (Id., XXXVI, 1913, p. 151-159, 7 fig.); *Volcanic Research at Kilauea in the Summer of 1911* (Ibid., p. 475-488, 5 fig.). Tous ces mémoires ont été analysés par E. Lehmann, dans la *Zeitschrift für Vulkanologie*, I, Berlin, 1914, p. 110-121.]

2. P. Moderni, *Contribuzione allo studio geologico dei Vulcani Vulsini* (Boll. R. Com. Geol. d'Italia, XXXIV, 1903, p. 121-147, 177-244, 333-375, pl. A-E : phot., avec 1 grande carte géol. séparée à 1 : 100 000); le même, *Le bocche eruttive dei Vulcani Sabatini* (Ibid., XXVII, 1896, p. 57-112, 129-160, pl. II : carte; XXXV, 1904, p. 22-71, 198-230, pl. F-M : phot.; bibliographie, p. 253-262). — Pareto et Ponzi ont déjà supposé, il est vrai, que ces lacs ne sont pas des cratères, mais qu'ils représentent des « avallamenti » ou dépressions formées par la rencontre de plusieurs cônes de projections. Mais il est bien difficile de croire que ces grandes cuvettes circulaires, situées sur les vastes cônes de tuf et jalonnant l'alignement des bouches d'éruption de la Campagne Romaine, aient pris naissance par la juxtaposition fortuite de volcans plus petits.

On le constate pour Stœfler[1], Baronius[2], Albategnius A[3], Thebit A[4],

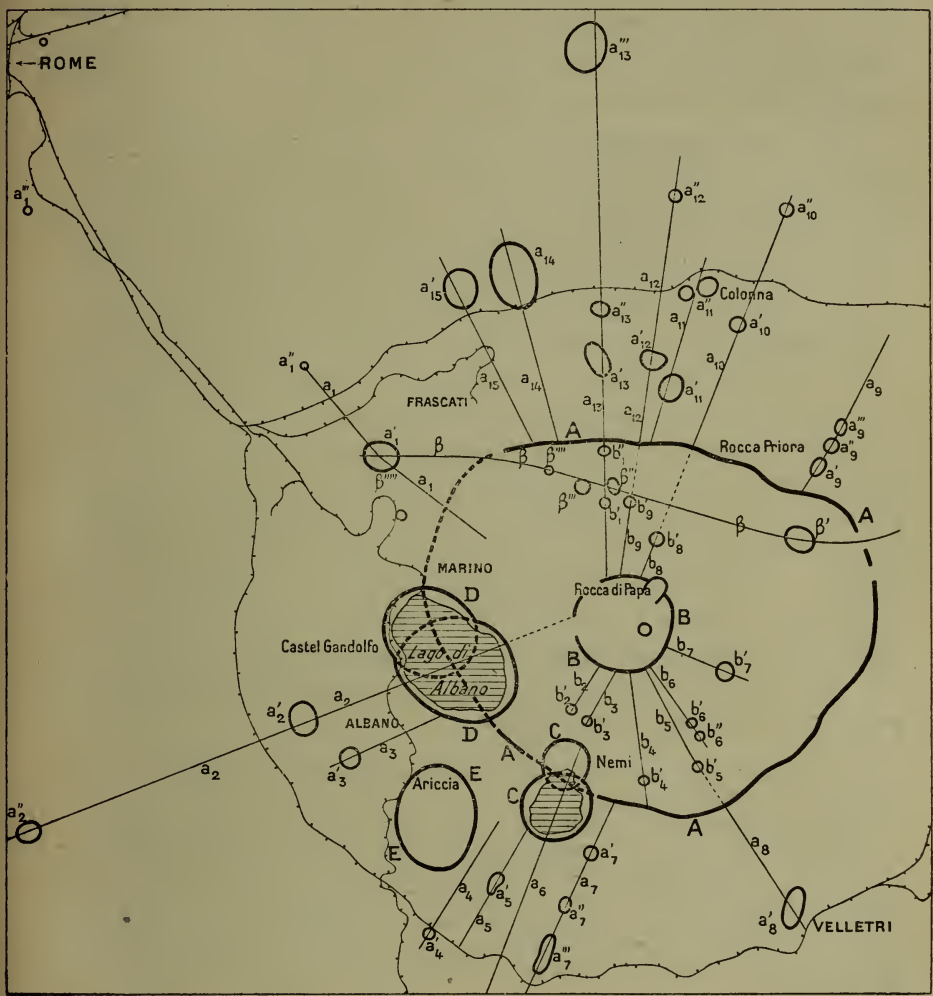


Fig. 386. — Cirques et fractures volcaniques des Monts Albains, d'après V. Sabatini (*Memorie descritt. della Carta geol. d'Italia*, X, 1900, pl. X).

A, cône externe; B, cône interne; C, cirques de Nemi; D, cirques d'Albano; E, cirque d'Ariccia. Les fractures volcaniques probables, en relation avec le cône externe, sont désignées par la lettre a (indices 1 à 15), et celles qui aboutissent au cône interne par la lettre b (indices 1 à 9). La lettre β indique une fracture excentrique. Les points d'éruption portent les mêmes lettres et numéros que les fractures correspondantes, avec adjonction d'une ou plusieurs virgules comme exposant. — Échelle de 1 : 200 000.

Davy[5], Clavius *a* et *b*; et l'on peut même distinguer plusieurs généra-

[1. *Atlas phot.* pl. I, II, XVII, XX, XXV, XXXVI, XXXVII, LX, LXVI.]
[2. *Atlas phot.*, pl. VI, XVII, XXIV.]
[3. Puiseux, fig. 43; — *Atlas phot.*, pl. III, IV, XX, LXIV.]
[4. *Atlas phot.*, pl. III XIV, XL, XLIX, LX.]
[5. *Atlas phot.*, pl, III, IX, LXIV.]

tions successives, ayant en général, comme nous l'avons vu, un diamètre de plus en plus petit et un lac de lave de plus en plus profond. Le voyageur qui pourrait faire le tour de Clavius ou de Stœfler ne compterait peut-être guère moins de vestiges de cheminées que Moderni n'en a compté autour du Lac de Bracciano (pl. XII).

Nous trouverons peut-être la raison de ce chevauchement dans la production de fentes périphériques sur le pourtour intérieur de la paroi de l'ancien cratère, au bord de l'obstruction, fentes d'où jaillissent des gaz : la Solfatare des Champs Phlegréens montre ce phénomène avec une grande netteté [1]. Les points où se fait l'émission se creusent de plus en plus, et il naît un nouveau cratère. De ces petites ouvertures périphériques sortent, d'après Lœwy et Puiseux, les longues raies de cendres blanches qui entourent un grand nombre de cratères. De là vient que certaines de ces raies se trouvent être non radiales, mais tangentes au cratère. C'est ainsi que de Messier [2] partent deux rayons tangentiels, légèrement divergents, qui ont été probablement engendrés par un seul et même tourbillon de cendres. On peut voir, en particulier, que les raies sortant de Tycho [3] se ternissent à la rencontre d'un obstacle, et qu'en général les rayons de ce genre disparaissent dans les plaines. Sapper a constaté de même que, lors de l'éruption du volcan Santa Maria au Guatemala, en octobre 1902, les parois tournées vers le volcan se recouvraient plus abondamment de cendres que les parois inclinées en sens contraire [4].

1. G. Mercalli, *Sullo stato attuale della Solfatara di Pozzuoli* (Atti Accad. Pontoniana, XXXVII, n° 6, 1907, 16 p., 5 fig.).

[2. Puiseux, fig. 28, 29; — *Atlas phot.*, pl. XXI, XXVII, XXXVIII, LXIII, LXVII.]

[3. Puiseux, fig. 42; — *Atlas phot.*, pl. VII. XIV, XVII, XVIII, XXXVI, XXXVII. L, LX.]

4. Lœwy et Puiseux, *Atlas phot. de la Lune* (texte), fasc. III, p. 37 et suiv.; VII, p. 17; VIII, p. 14 (tourbillons), et ailleurs. K. Sapper, *Der Ausbruch des Vulkans Santa Maria in Guatemala* (Centralblatt f. Min., 1903, p. 43); le même géologue décrit des trombes dans son rapport : *Die vulcanischen Ereignisse in Mittelamerika im Jahre 1902* (Neues Jahrb. f. Min., 1904, I, p. 63); voir aussi A. Lacroix, *La Montagne Pelée après ses éruptions.* In-4°, Paris, 1908, p. 20, 21.

LÉGENDE DE LA FIGURE 387.

Nomenclature des bouches éruptives de la région de Bracciano (*Vulcani Sabatini*) :

I. *Groupe du Lac de Bracciano :* 1. Lac de Bracciano; 2 et 3. Macchia delle Fiore. — II. *Groupe d'Oriolo :* 4. Poggio di Sassetto; 5, 6, 7. Poggio Tondo; 8. Monte Levo; 9. Monte Raschio; — III. *Groupe de Bracciano :* 10. Bracciano; 11. Monte Tonico; 12. Molina del Comune; 13. Monte Perpignano; 14. Cappuccini di Bracciano; 15. Poggio Cinquilla; 16. La Caldara. — IV. *Groupe d'Anguillara :* 17. Vigna di Valle; 18. Anguillara. — V. *Groupe de Martignano :* 19. Lac de Martignano; 20. Stracciacappe; 21. Polline; 22 et 23. Acquarella. — VI. *Groupe de Compagnano :* 24. Valle di Baccano; 25. Cratère de Scrofano; 26. Monte Ficoreto; 27. Monte Tozzo; 28. Monte Maggiore; 29. Monte Solforoso; 30. Monte Mosino; 31. Monte Aguzzo. — VII. *Groupe de Monterosi :* 32. Lac de Monterosi; 33. Monte Luchetti; 34. Valle Contea; 35. Monte Tapino; 36. Macchia di Monterosi; 37. Monte Agliano; 38. Cratère de Monte dell' Olmo; 39. Cône de Monte dell' Olmo; 40. Lagusello; 41. Monte Fagliano. — VIII. *Groupe de Trevignano :* 42. Monte Calvi; 43. Monte Verano; 44. Monte Termini; 45 et 46. Monte Calandrina; 47. Cratère de Monte Capriglia; 48. Cône de Monte Capriglia; 49. Monte di Rocca Romana; 50. Monte Riccio; 51. Trevignano; 52. Costa di Santa Lucia.

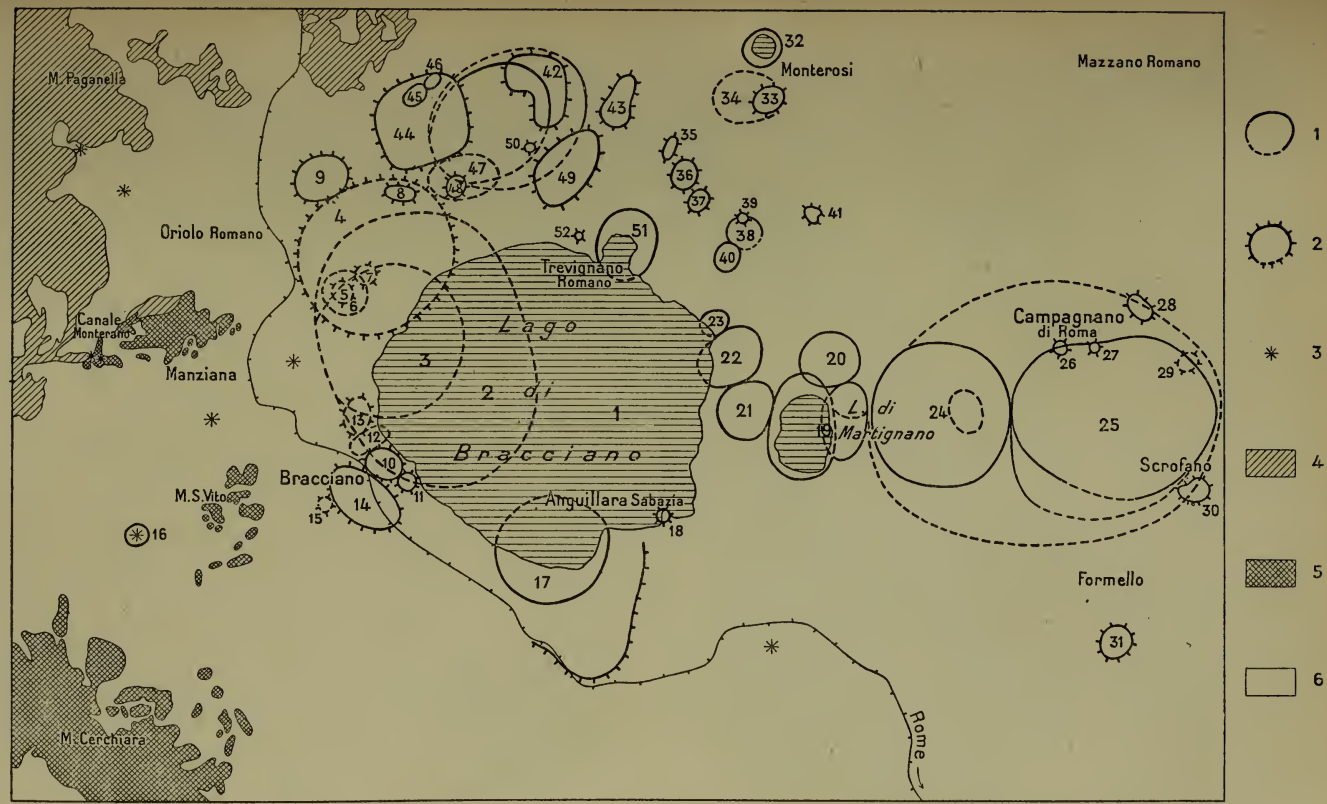


Fig. 387. — Bouches volcaniques des Environs du Lac de Bracciano, d'après F. Moderni (*Boll. R. Comitato geol. d'Italia*, XXVII, 1896, pl. II, p. 160).

1. Cratères; 2. Cônes; 3. Sources minérales; 4. Éocène et terrains secondaires; 5. Trachyte ancien (miocène); 6. Pliocène (sables et argiles), laves et tufs. Échelle de 1 : 200 000. — Voir l'explication des numéros sur la page ci-contre.

Il se peut que les petites taches blanches brillantes, comme celles de Humboldt[1] et de Werner[2], soient de l'alun, comme c'est le cas au fond de la Solfatare des Champs Phlégréens.

Cette apparition et cette dispersion des cendres constituent d'autres analogies importantes avec les phénomènes terrestres; mais les cônes de projections volcaniques sont rares sur la Lune. Lœwy et Puiseux

Fig. 388. — Crevasse du Tarawera et Cratère du Rotomahana (Nouvelle-Zélande), d'après J. M. Bell (*Geogr. Journal*, London, XXVII, 1906, p. 375).

Échelle de 1 : 120 000.

citent Cichus[3] comme un cône de cette espèce. Pickering en décrit un autre entre Ries et Mercator[4]. Hyginus[5] est plutôt une fosse greffée sur une fente, et ce trou se montre même recoupé par la fente, comme cela est arrivé en 1886 au Tarawera, dans la Nouvelle-Zélande[6], où l'on a vu une fente traverser de part en part, en quelques heures, ce volcan (fig. 388). La fente du Tarawera montre, le long de son parcours, de nombreuses fosses plus petites et des cratères pouvant

[1. *Atlas phot.*, pl. XII, XXI.]
[2. *Atlas phot.*, pl. I, II, XX, XXV, XXXVI, XXXVIII, LX.]
[3. *Atlas phot.*, pl. VII, VIII, XIV, XIX, XXXVI, XLIX, L.]
[4. *Atlas phot.*, pl. VII, VIII, XIX, XLIX, L, LV, LVI.]
[5. *Atlas phot.*, pl. IV, X, XXII, XLVI, XLVII, LXIV.]
[6. Voir les travaux de J. M. Bell, H. M. Cadell, H. Hill et J. Park, signalés au tome III du présent ouvrage, 3e partie, p. 1021-1022.]

atteindre 800 pieds de profondeur et ayant donné des cendres, mais pas de laves. De telles fentes, accompagnées de nombreuses petites ouvertures, çà et là aussi d'un amas de cendres, sont assez fréquentes sur la Lune et coupent quelquefois en deux la surface d'une aire de fusion. Cette disposition est très nette, par exemple, entre Copernic et Ératosthène[1]. Les relations de ces fentes avec les aires de fusion sont comparables à celles des longues fentes rectilignes de l'Islande, à chapelets de fosses et de cratères (III, 2e partie, p. 954), avec le cirque d'Askia.

Sur les pentes du Kilauea, comme sur celles du Mauna Loa, se trouvent, complètement séparés des lacs de lave, des cônes de projections isolés. Le Mauna Kea (4 230 m.), au Nord du Mauna Loa, ne possède aucun lac de lave, mais porte de nombreux cônes de ce genre. De sa structure générale, on peut conclure qu'il a été formé de la même manière que ses voisins; les cônes de cendres représentent une formation subséquente, postérieure à l'extinction du lac de lave découvert.

De cette manière s'accomplit le passage des cheminées ouvertes aux entassements sortant de fentes et au cône de cendres terrestre normal.

Il existe encore sur la Lune une catégorie spéciale d'ouvertures circulaires, caractérisées par un bord net et une grande profondeur, qui peuvent atteindre un diamètre de 15 ou même 18 kilomètres. Quelquefois, leur bord paraît même légèrement relevé et de forme conique. Ptolémée A[2] en constitue le type. Ces ouvertures semblent avoir été produites par des explosions isolées de gaz. Peut-être y aurait-il lieu de les comparer aux cheminées diamantifères de l'Afrique Australe[3].

Malgré toutes les autres différences physiques, le volcanisme lunaire a subi une évolution très analogue à celle du volcanisme terrestre. On y distingue des cendres de teinte claire et des cendres de teinte foncée, qui nous font penser à des séparations de roches saliques; ce qui implique l'existence d'une certaine quantité d'oxygène, nécessaire à la formation des oxydes. Si la présence de l'alun se confirme, il en résulterait un rapprochement encore plus marqué avec les phénomènes terrestres. Tout cela démontre, dans le passé, la production de gaz juvéniles.

Devant d'aussi grandes concordances, la question se pose de savoir si les sédiments terrestres ne recouvrent pas quelque infrastructure qui se serait constituée, dans le cours des âges, de la même façon que la

[1. Puiseux, fig. 38; — *Atlas phot.*, pl. IX, XV, XVI, XXXIII, XXXIV, LXXI.]
[2. *Atlas phot.*, pl. XXXIII, XLVI.]
3. Sur ce groupe et sur les exemples fréquents de cratères jumeaux, voir Ed. Suess, *Einige Bemerkungen über den Mond*, p. 46.

surface lunaire et qui, plus tard, aurait influencé toute la tectonique terrestre ou même l'aurait dominée.

Un cas simple est celui de la *Vallée des Alpes*[1], sillon rectiligne, long de 130 kilom., large à son origine de 9 à 10, se rétrécissant très lentement sur une longueur de 90 kilom., puis devenant subitement beaucoup plus étroit, sous l'influence, semble-t-il, d'un léger décrochement en forme de baïonnette, mais reconnaissable encore sur 40 kilom. Ses deux versants sont très abrupts et atteignent 3 000 mètres de hauteur. On serait tenté d'y voir un fossé (*graben*), si le sol n'en était pas aussi uni. On suppose que cet accident est le résultat d'un léger déplacement horizontal des voussoirs contigus[2].

Si, avant la formation de la crevasse, il y avait eu, au-dessus de ces 3 000 mètres de laves, encore quelques milliers de mètres de gneiss et de schistes anciens, comme c'est le cas dans l'Afrique Orientale, la déchirure serait partie d'en haut; elle aurait été plus large à la surface et aurait pris, grâce à la présence d'esquilles se détachant et s'écroulant sur les côtés, les caractéristiques d'une fosse disjonctive, s'affaissant en gradins. Le déplacement présumé des voussoirs n'aurait pu se réaliser tout au plus qu'en largeur. Je rappellerai du reste, à ce propos, les hypothèses faites sur les escarpements coudés à angle droit près d'Ankober et de la dépression de l'Afar.

L'extrémité de la Vallée des Alpes est voisine de la Mer des Pluies; les contours ne sont pas très nets dans cette région; mais le fait que l'extrémité de la fente coïncide avec sa partie la plus large fournit un trait de ressemblance avec l'extrémité Sud de la vallée du Rhin.

Ce qu'on appelle le *Mur Droit*[3], dans la Lune, n'est qu'une simple faille.

Il y a sur la Lune un certain nombre de lignes droites parallèles qui semblent être l'indice d'une fissilité relative de la surface lunaire; plusieurs de ces lignes se trouvent, par exemple, entre Arzachel, Albategnius et Ptolémée[4]. Je les mentionne ici, parce qu'on ne saurait contester que, dans les contours de l'Océan Indien et jusque dans le domaine des fractures est-africaines (là, avec une direction plus voisine du méridien), peut-être aussi dans la partie septentrionale de l'Océan Atlantique jusqu'au Groenland[5], la croûte terrestre trahisse

[1. Puiseux, fig. 37; — *Atlas phot.*, pl. V, XIII, XXIII, LII, LVIII, LXIX.]

2. Ed. Suess, *Einige Bemerkungen über den Mond*, p. 39; Lœwy et Puiseux, *Atlas photographique de la Lune* (texte), III, p. 22 et suiv.; IX, p. 45.

[3. Puiseux, fig. 44; — *Atlas phot.*, pl. III, IX, XIV, XXXIII, XLIX, L, LX, LXIV.]

[4. Puiseux, fig. 43; — *Atlas phot.*, pl. III, IX, XX, XXVI, XXXIII, XXXVII, XLVI, LXIV.]

[5. F. B. Taylor, *Bearing of the Tertiary Mountain Belt on the Origin of the Earth's Plan* (Bull. Geol. Soc. of America, XXI, 1910, p. 179-226, pl. 4; voir, en particulier, p. 205 et suiv. et fig. 5, p. 207 : « Diagram of Greenland Rifts »).]

une tendance analogue. Les fentes qui vont d'Hyginus vers la Mer de la Tranquillité[1] sont disposées suivant un mode alternant. On sait que, dans le fossé de l'Afrique Orientale, il se produit des déplacements répétés, par échelons, s'écartant obliquement du 36e méridien, puis s'en rapprochant d'une façon non moins soudaine.

Bassins marins lunaires et terrestres. — A la fin du premier volume de cet ouvrage, nous disions que les bassins océaniques de la Terre naissent et s'agrandissent par affaissement et effondrement (I, p. 823). Cette conclusion s'appuyait sur les contours des horsts atlantiques, recoupant les traits profonds de structure, sur l'interruption de chaînes plissées tout entières et sur l'affleurement fréquent de couches à empreintes végétales le long des rivages. A la fin du deuxième volume, nous avons conclu de la prédominance des déplacements eustatiques, négatifs, des lignes de rivages à la persistance intermittente de ces affaissements. On a vu que les contours triangulaires de certains continents résultent de la rencontre de deux champs d'affaissement d'âge différent (II, p. 841). Les mers de la Lune sont, de même, des champs d'affaissement; elles sont également séparées par des horsts triangulaires et sont aussi d'âge différent. Les Apennins et le Caucase[2], par exemple, sont des horsts cunéiformes compris entre la Mer de la Sérénité et la Mer des Pluies (pl. XI); les fractures bordières qu'on observe, par exemple, sur le bord occidental de la Mer du Nectar, au pied des Pyrénées Lunaires[3], révèlent un effondrement; les lignes successives au bord de la Mer des Humeurs en montrent un autre; la Mer du Nectar et la Mer des Crises sont plus jeunes que d'autres, etc.

L'Islande, horst de carapace volcanique, dont les affaissements appartiennent vraisemblablement à un horizon plus élevé de la croûte terrestre, est appelée à donner l'image la plus fidèle des effondrements circulaires de la Lune. Ces effondrements se montrent dans la presqu'île du Nord-Ouest (III, 2e partie, p. 953, fig. 215), et plus clairement encore autour du Faxa-Fjördr. Là, les deux promontoires du Snæfells Jökull et de Reykjanes représentent les caps lunaires Héraclide et Laplace, à l'entrée du Golfe des Iris. Enfin vient la grande fracture en arc de cercle qui traverse l'Islande toute entière, depuis le Nord-Est jusqu'à Reykjavik.

[1. Puiseux, fig. 35; — *Atlas phot.*, pl. IV, X, XXII, XXVI, XXVII, XXXII, XXXVIII, XLVI, LI, LXIII, LXIV, LXV.]

[2. Puiseux, fig. 37; — *Atlas phot.*, pl. V, X, XIII, XV, XVI, XXII, XXIII, XXXIV, XXXV, XLVII, LXIX.]

[3. *Atlas phot.*, pl. XXVII, XXXII, XXXVIII, LXIII.]

Cliché Lœwy et Puiseux

FRAGMENT DE LA SURFACE LUNAIRE : APENNINS - CAUCASE - ALPES

Photographie communiquée par l'Observatoire de Paris

Les tremblements de terre de la Calabre nous apprennent comment prend naissance, sous nos yeux, un effondrement circulaire. Là, les volcans des Iles Lipari se trouvent au centre, l'Etna sur la périphérie. Si les laves des Lipari s'étalaient sur toute la dépression et étaient visibles aux yeux, la similitude avec les formes lunaires serait encore plus complète. L'effondrement du Roussillon s'introduit dans la masse des Pyrénées, sans égard pour leur contexture. Un grand nombre d'exemples analogues ont été déjà cités (voir notamment I, p. 173). Sur le bord oriental des Alpes, deux effondrements en arc de cercle paraissent se toucher. Dans le Bassin Parisien, dans certaines parties de la Méditerranée, les contours demeurent encore plus ou moins circulaires; en prenant un plus grand développement, toute régularité de forme finit par disparaître.

Si, sur la Terre, nous rencontrons moins de laves accumulées, ce phénomène est dû vraisemblablement à la puissance des enveloppes externes, qui sont en partie d'origine sédimentaire. La durée plus longue du processus a aussi eu pour suite une pénétration plus intime des contours. A cela s'ajoutent, dans l'Océan Pacifique, les perturbations apportées par des phénomènes tectoniques ultérieurs et, dans l'Océan Indien, l'utilisation de certaines fractures par l'affaissement. Aux masses cunéiformes du Groenland, de l'Afrique (y compris les Montagnes du Cap) et de l'Inde ne font point face d'autres coins symétriques, comme c'est le cas pour les Apennins Lunaires opposés au Caucase.

Lœwy et Puiseux trouvent que l'on peut distinguer sur la Lune trois niveaux successifs, dont chacun atteste une longue période de stabilité et de consolidation. Le premier comprend les régions les plus élevées, les plus continues et les plus anciennes de la partie australe de la Lune; le deuxième, situé à 3 000 mètres plus bas, au moins, répond au niveau général des mers; et le troisième, plus déprimé d'une égale quantité, correspond au fond des grands cirques formés aux dépens des mers elles-mêmes, après leur consolidation. Les deux derniers étages sont considérés chacun comme un indice du retrait des laves, dont ils mesurent l'amplitude; en outre, il se serait formé de nouvelles mers et de nouveaux cirques aux dépens du plus récent échelon, sans qu'on ait aucune raison d'admettre qu'ils se soient constitués par une autre voie que les mers proprement dites[1].

Nous avons déjà remarqué, dans un parallèle avec le Mauna Loa, combien la force ascensionnelle pouvait différer dans des cheminées voisines; d'autre part, un abaissement général des laves dans les che-

1. Lœwy et Puiseux, *Atlas photographique de la Lune*, IX, p. 12.

minées peut être l'indice d'un progrès général du dégagement des gaz et de la contraction.

Il n'existe pas, à la surface du Globe, un seul pouce de terrain dont l'altitude n'ait été modifiée par dégradation ou de toute autre manière, et un terme de comparaison avec la première phase, le territoire ancien de la partie australe de la Lune, manque. Nous sommes obligés de nous en tenir à des valeurs moyennes, qui, d'ailleurs, ne nous indiquent pas l'altitude primitive. Pour l'Afrique, l'on possède cinq évaluations de la hauteur moyenne, toutes comprises entre 602 et 662 mètres. Huit cotes, pour l'Asie, oscillent entre 920 et 1 010 mètres[1]. Deux valeurs aberrantes sont plus faibles. La profondeur moyenne des trois grands océans atteint, d'après les plus récents tableaux de Krümmel, 3 997 mètres; elle serait respectivement de 3 858 mètres pour l'Océan Atlantique, 3 929 mètres pour l'Océan Indien et 4 097 mètres pour l'Océan Pacifique[2]. Les profondeurs des Océans se rapprochent à tel point, en chiffres ronds, de 4 000 mètres qu'un observateur placé sur la Lune pourrait les considérer comme le résultat d'une seule et même phase de la solidification (dans le sens lunaire). Nous objecterions qu'elles sont d'âge différent; il pourrait répondre que la somme des temps qu'embrasse la chronologie stratigraphique des géologues est comprise tout entière dans la durée d'une telle phase.

Nous nous trouvons ici dans le champ dangereux des moyennes. La façon dont les avant-fosses pénètrent en avant de l'arc Birman dans le domaine indien et en avant des Antilles Tropicales dans le domaine atlantique, montre qu'elles sont indépendantes de l'affaissement pacifique général et plus récentes que celui-ci. Le fond de l'océan se comporte comme un avant-pays submergé. L'observateur placé sur la Lune distinguerait trois étages : celui de la Péninsule de l'Inde, celui de l'Océan Pacifique, enfin celui des avant-fosses, chacun pouvant être à environ 4 000 mètres au-dessous du précédent. Le continent asiatique représenterait les sédiments plissés, qui manquent sur la Lune. Cherchons une base plus large à l'explication.

Les bassins marins de la Terre sont des interruptions si importantes de la surface générale que des naturalistes éminents, comme Wallace, ont pensé qu'ils constituaient des traits imprimés immuablement et depuis

1. Tableau dans A. Supan, *Grundzüge der physischen Erdkunde*, 4. Aufl. In-8°, Leipzig, 1908, p. 48. Les chiffres aberrants pour la hauteur moyenne de l'Asie sont ceux de Humboldt (1844) : 351 mètres, et d'A. de Lapparent : 879 mètres. Pour les hauteurs et les profondeurs moyennes, voir aussi A. Penck, *Morphologie der Erdoberfläche*, I. In-8°, Stuttgart, 1894, p. 151.

2. O. Krümmel, *Handbuch der Ozeanographie*, 2. Aufl. In-8°, Stuttgart, I, 1907, p. 144. [On trouvera des chiffres un peu différents dans le *Traité de Géographie Physique* d'Emm. de Martonne. In-8°, 2e éd., Paris, 1913, tableau de la p. 266.]

l'origine sur le Globe terrestre[1]. D'après cette manière de voir, aucun nouveau bassin océanique ne pourrait se former, de même qu'aucun bassin existant ne pourrait être détruit. L'expérience ne confirme pas ces hypothèses. On a d'ailleurs à distinguer entre les contours des mers et les bassins marins. Les contours oscillent, et ce n'est pas sans raison que l'on sépare les mers de transgression ou mers *épicontinentales* des bassins profonds. Les premières proviennent de modifications dans la forme de l'hydrosphère, les seconds de déformations de la lithosphère. Les contours des transgressions se transforment; les bassins profonds changent aussi.

Les affaissements européens des Altaïdes sont en même temps des témoins de la rémission des forces plissantes, et il semble même probable que ce sont précisément ces affaissements qui ont déterminé l'interruption du plissement des Altaïdes en Europe et dans le Nord de l'Afrique. Plus tard, la Téthys a subi en Asie un refoulement venant du Nord, et du Sud en Europe; dans les hautes chaînes se sont produits des charriages et des plissements, les profondeurs ont été comblées, et la mer a disparu. Puis sont survenus de nouveaux effondrements; dans la Méditerranée, ils continuent encore de nos jours. Tous les exemples d'effondrements circulaires, à l'exception de ceux de l'Islande, se trouvent à l'intérieur des Altaïdes ou des accidents posthumes qui leur ont succédé. Aucun effondrement de ce genre n'empiète sur l'Afrique, et ainsi s'explique également la structure particulière de la Méditerranée du Sud-Est, jusqu'à la côte rectiligne de la Syrie.

Une mer profonde, s'étendant des Iles de la Sonde[2] jusque dans l'Europe Méridionale, a été incorporée au continent; non seulement

[1. Dans ces dernières années, le problème de la permanence des Continents et des Océans a été, de la part des géologues américains, l'objet d'un grand nombre de travaux. L'hypothèse, résolue dans le sens affirmatif, a, notamment, servi de base aux essais de reconstitution de Ch. Schuchert (*Paleogeography of North America*; Bull. Geol. Soc. of America, XX, 1910, p. 427-606, pl. 46-101 : cartes) et de Bailey Willis (*Paleogeographic Maps of North America*; Journal of Geol., Chicago, XVII, 1909, *passim*; cartes reprod. dans l'ouvrage de Bailey Willis and Rollin D. Salisbury, *Outlines of Geologic History, with especial Reference to North America*. In-8°, VIII-306 p., 44 fig., Chicago, 1910). Plusieurs de ses conséquences ont été discutées, en outre, par T. C. Chamberlin, dans une série d'articles insérés au *Journal of Geology*, en 1913 et 1914, sous le titre de *Diastrophism and the Formative Processes*; voir, en particulier : II. *Shelf-Seas and certain Limitations of Diastrophism* (J. of G., XXI, 1913, p. 523-533); III. *The Lateral Stress within the Continental Protuberances and their Relations to Continental Creep and Sea-Transgression* (Ibid., p. 577-587); V. *The Testimony of the Deep-Sea Deposits* (Ibid., XXII, 1914, p. 131-144). Consulter, enfin, l'important mémoire de W. D. Matthew, *Climate and Evolution* (Annals New York Acad. Sc., XXIV, 1915, p. 171-318, fig. 1-33), où cette doctrine est considérée surtout du point de vue zoo-géographique (p. 174, 189, etc.).]

[2. K. Martin, *Wann löste sich das Gebiet des Indischen Archipel von der Tethys?* (Samml. d. Geol. Reichsmus. in Leiden, Ser. I, Bd. IX, 1914, p. 337-355).]

l'apparition de faunes tibétaines dans les Alpes Orientales[1], mais aussi la présence de laves pacifiques démontrent qu'il s'agit bien là d'une invasion pacifique et de mouvements extrêmement profonds. De là, aussi, les analogies entre Gibraltar et les Antilles Tropicales.

Les changements qu'a subis la surface terrestre jusqu'à une époque récente sont incomparablement plus grands que l'on n'eût osé en

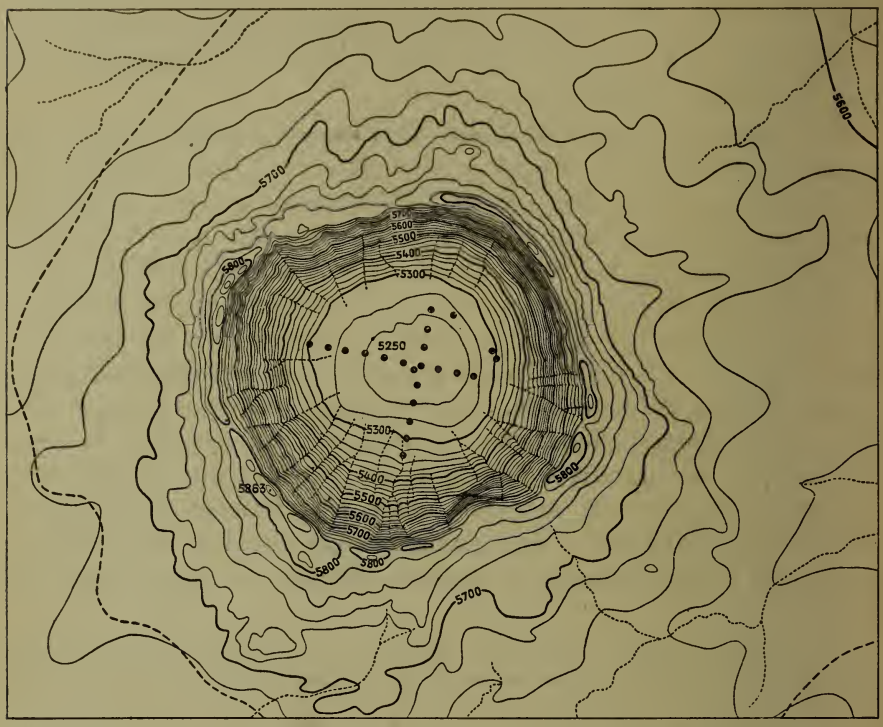


Fig. 389. — Topographie du Meteor Crater (Arizona), d'après le levé de Marcus Baker (*Smithsonian Miscellaneous Collections*, L, 1908, pl. LXVI; reprod. *Annales de Géogr.*, XXII, 1913, p. 180, fig. 2).

Échelle de 1 : 30 000. Équidistance des courbes : 20 pieds anglais (6 m.); les courbes de 100 en 100 pieds (30 m.) sont renforcées. — Le trait fort brisé représente la limite des matériaux détritiques accumulés sur les bords du cratère; les points noirs, à l'intérieur de celui-ci, figurent l'emplacement des sondages.

convenir il y a quelques années, et nous hésitons à poursuivre ce parallèle avec les phases de solidification de la Lune en nous appuyant sur les hauteurs moyennes.

[1. Les fluctuations des rivages de cette mer ont été précisées, pour l'Asie, par K. Leuchs, *Die Südküste des Angaralandes zwischen 70° und 105° ö. Gr.* (Centrabl. f. Mineralogie, 1915, p. 170-178, 1 fig. carte). Voir aussi H. Douvillé, *Le Crétacé de l'Himalaya* (C. R. sommaire Soc. Géol. de France, 1914, p. 172-173) : couches à Orbitolines du Barrémien et de l'Albien, Cénomanien à Ammonites, Maëstrichtien très fossilifère, Éocène inférieur à Alvéolines.]

Le remplissage des mers lunaires par des laves paraissait, avant que n'eussent été reconnues les circonstances de la fusion des batholithes terrestres, si incompréhensible que des savants très autorisés avaient émis l'opinion que ces formes lunaires seraient dues à la chute brusque de corps étrangers[1]. Un batholithe, en s'élevant, ne détermine pas l'ouverture d'une fente courant sur plusieurs degrés de latitude. Quand il n'atteint pas lui-même, par fusion, la surface, son toit s'ouvre (et c'est bien le cas général, autant qu'on peut s'en rendre compte) en formant un réseau de fentes, et les laves viennent au jour. C'est là le type des volcans en groupes.

En dehors du domaine atlantique, on ne trouve de volcans en groupes que dans la partie orientale de l'Océan Pacifique (Galapagos, Ile de Pâques) et dans la Méditerranée Occidentale. Les Açores, les Iles Canaries et les Iles du Cap-Vert sont des exemples atlantiques. A ces exemples s'ajoutent de fréquentes éruptions sous-marines, les nombreux tremblements de terre que Rudolph a signalés dans le voisinage de l'Ile Saint-Paul, et aussi ce fait que, bien que le Brésil ne présente pas de volcans en

1. N. S. Shaler, *A Comparison of the Features of the Earth and the Moon*, 1903, p. 15-21. [Voir surtout l'adresse présidentielle de G. K. Gilbert, *The Moon's Face. A Study of the Origin of its Features* (Bull. Phil. Soc. Washington, XII, 1893, p. 241-292, fig. 1-14, pl. 3); observations critiques de W. Branco, *Schwabens 125 Vulkanembryonen*, etc. (Jahreshefte d. Vereines f. vaterl. Naturkunde in Württemberg, LI, 1895, p. 280-314 : « Die vulkanischen Bildungen des Mondes im Vergleiche mit denjenigen der Gruppe von Urach »). Voir aussi l'ouvrage de T. J. J. See, *Researches on the Evolution of the Stellar Systems*, vol. II. *The Capture Theory of Cosmical Evolution*. In-4°, Lynn, Mass., U. S. A., 1910 (chap. XIV. « On the Craters, Mountains, Maria and Other Phenomena observed on the Surface of the Moon, and on the Indicated Processes of Planetary Growth », p. 328-356, pl. VIII-XVII : phot.). — D'autre part, le rôle morphogénique attribuable aux chutes de météorites à la surface du Globe terrestre a fait l'objet de longues controverses, suscitées par l'origine mystérieuse de la cavité circulaire connue sous le nom de Meteor Crater ou Coon Butte, dans l'Arizona (voir la fig. 389); consulter sur cette question : G. K. Gilbert, *The Origin of Hypotheses. Illustrated by the Discussion of a Topographic Problem* (Science, New York, new ser., III, 1896, p. 1-13, 2 pl.); A. de Lapparent, *Fer natif et Météorites* (Revue des Questions scientifiques, Bruxelles, avril 1897, p. 15-32 du tirage à part); D. M. Barringer, *Coon Mountain and its Crater* (Proc. Acad. Nat. Sc. Philadelphia, LVII, 1905, p. 861-886); B. T. Tilghman, *Coon Butte, Arizona* (Ibid., p. 887-914); H. L. Fairchild, *Origin of Meteor Crater* (Bull. Geol. Soc. of America, XVIII, 1907, p. 493-504, pl. 54-56); G. P. Merrill, *The Meteor Crater of Canyon Diablo, Arizona, its History, Origin, and Associated Meteoric Irons* (Smithsonian Miscellaneous Collections, L, No. 1789, 1908, p. 461-498, fig. 124-129, pl. LXI-LXXV, dont 1 carte reprod. ci-contre, fig. 389); D. M. Barringer, *Meteor Crater, formerly called Coon Mountain or Coon Bulte, in Northern Central Arizona*. Paper read before the National Academy of Sciences, Nov. 16, 1909. In-4°, 24 p., 21 pl. dont 3 cartes et 18 phot. ; Hj. Sjœgren, *Om kratern vid Canyon Diablo, och dessen samband med meteorjärnsfaltet på samma plats* (K. Svenska Vet.-Akad. Årsbok, 1911, p. 237-262, 7 fig.); Elihu Thomson, *The Fall of a Meteorite* (Proc. Amer. Acad. Arts and Sc., Boston, XLVII, 1912, p. 721-733); Emm. de Margerie, *Deux accidents cratériformes : Crater Lake, Oregon, et Meteor Crater, Arizona* (Annales de Géogr., XXI, 1913, p. 172-184, 2 fig.); D. M. Barringer, *Further Notes on Meteor Crater* (Proc. Acad. Nat. Sc. Philadelphia, LXVI, 1914, p. 556-565, pl. XXI-XXIII : cartes et coupes). — Pour un autre exemple, emprunté à la géologie de l'Afrique du Sud, voir E. H. L. Schwarz, *The probability of large Meteorites having fallen upon the Earth* (Journal of Geol., Chicago, XVII, 1909, p. 123-135, 3 fig. dont 1 carte géol.).]

activité, toutes les îles situées dans la partie occidentale de l'Océan sont constituées par des roches volcaniques (Trinidad, Fernando Noronha, Abrolhos). On sait combien, parmi les îles océaniques, celles dont l'origine est volcanique dominent[1]. En tout cas, l'extension des volcans récents au fond des océans fait contraste avec leur absence dans l'Inde, le Cambodge, le massif ancien du Nord de la Chine, le Continent de l'Angara, la Laurentia, le Brésil, et leur rareté dans tous les territoires d'ancienne consolidation, sauf l'Afrique, où ils se présentent dans des conditions différentes[2]. D'autre part, il est surprenant que les Iles Sandwich, où se trouve peut-être l'amas le plus considérable de laves lourdes qui existe sur le Globe et où des lacs de lave incandescente rappellent la Lune, se dressent au beau milieu du Pacifique[3].

Séparation de la Lune et ses conséquences. — C'est pour ainsi dire en tremblant que le géologue essaye d'appliquer à l'objet de ses études les méthodes précises des Mathématiques. Pour lui, le présent est un instant qui passe, et quand il mesure à son échelle du temps les fondements sur lesquels est construit l'édifice, d'ailleurs admirable, de la Géodésie moderne, ces bases lui apparaissent changeantes et éphémères. On ignore dans quelles limites exactes la ligne de rivage, base de tant de travaux, est influencée par l'attraction continentale; mais on sait que son niveau varie. Une grande partie des côtes européennes et nord-américaines est bordée, dans l'Océan Atlantique, par un seuil peu

1. Voir le t. II du présent ouvrage, p. 214, 215; E. Rudolph, *Ueber submarine Erdbeben und Eruptionen* (Beiträge zur Geophysik, I, 1887, p. 133-365, pl. IV-VII, en particulier p. 189; voir les cartes, ainsi que les volumes suivants du même recueil).

[2. Sur les volcans africains, voir III, 3e partie, p. 962-977 et 986-989.]

3. Note relative aux planches XI et XII. (Sur ces deux planches, le Nord est en bas.) La pl. XI montre la rencontre de deux des Mers que Lœwy et Puiseux comparent aux affaissements méditerranéens : à gauche, la Mer de la Sérénité, et à droite, la Mer des Pluies. Les presqu'îles séparatives sont, au Sud (en haut), les Apennins, et au Nord (en bas), le Caucase. De la Mer des Pluies surgissent trois cratères remarquables, Archimède, Autolycus et Aristille. L'espace compris entre ces cratères et les escarpements très abrupts des Apennins s'appelle Palus Putredinis; il s'introduit entre le Caucase et les Apennins; ceux-ci supportent, dans ces parages, de très hautes montagnes, comme le Mont Hadley, qui ne sont pas des volcans, mais des massifs limités par des failles (*Schollen*). Au-delà de l'intervalle entre les Apennins et le Caucase se détache, sur le fond de la Mer de la Sérénité, dont la teinte est sombre, une tache blanche à peine indiquée. C'est Linné, où l'on a cru constater des modifications récentes. Une tache blanche plus accusée (alun ?) se voit au Sud, là où les Apennins s'abaissent doucement sous les flots de lave de la Mer. Entre le Caucase et le bord du disque lunaire se présentent les grands cirques à fond plat d'Eudoxe et d'Aristote. Les montagnes qui bordent au Nord la Mer des Pluies ont reçu le nom d'Alpes. La Vallée des Alpes est visible comme une coupure rectiligne. —

Sur la pl. XII, on peut reconnaître, en haut, à gauche, et sur quelques autres points des fragments de ce qu'on a appelé " l'ancienne terre ", c'est-à-dire des parties moins modifiées de la surface lunaire, comparables jusqu'à un certain degré au soubassement basaltique de l'Islande. Un grand nombre de cratères chevauchants sont visibles. Un bel exemple

Cliché Lœwy et Puiseux

FRAGMENT DE LA SURFACE LUNAIRE : PURBACH - ORONTIUS - STŒFLER

Photographie communiquée par l'Observatoire de Paris

profond, et nettement séparée des grandes profondeurs du large[1]. Ce socle pénètre dans les mers arctiques, et Nansen en a trouvé le bord, au Nord des Iles de la Nouvelle-Sibérie, à — 100 mètres. Plus au Nord, c'est-à-dire au-delà du 80e degré de latitude, la mer atteint de 3 000 à 4 000 mètres de profondeur (fig. 390)[2]. Cette plate-forme est le témoignage d'une position plus profonde du rivage, à une époque où les régions littorales dont il vient d'être question possédaient déjà les traits principaux de leur relief actuel.

A une autre époque, vraisemblablement plus tardive encore, les eaux marines, autour du pôle Nord, ont atteint un niveau notablement plus élevé qu'aujourd'hui. De grandes parties de la Sibérie étaient immergées. En Écosse, le rivage atteignait + 161 mètres. On signale dans l'Amérique arctique, par exemple à Discovery Harbour[3] (80° 45′), *Mya truncata* à une altitude de + 591 mètres; à Montréal, la mer est montée jusqu'à 143 mètres[4], à Nantucket jusqu'à 26 mètres; ses traces se perdent vers 40° de lat. N. L'étude des coquilles montre qu'alors le Gulf Stream et un contre-courant froid existaient déjà[5].

Chacune de ces époques aurait donné une valeur différente pour l'aplatissement de la Terre, et, pour nous consoler, rappelons-nous que sur les côtes les mieux connues, du moins pendant les temps historiques, on n'a pas pu démontrer avec certitude que des modifications générales de l'hydrosphère se soient réellement produites[6].

se trouve en bas, à droite; puis se succèdent en une rangée subméridienne les trois cirques de Purbach, empiétant sur Regiomontanus, et Walter; puis, en haut et à droite, Orontius, avec deux grands cratères chevauchants qui se succèdent vers la gauche; le dernier est Nasreddin. A gauche de Nasreddin se trouve Stœfler; il possède en haut à droite et en bas à droite de petits cratères chevauchants, et en haut à gauche le grand cratère chevauchant de Faraday, auquel succèdent encore deux générations, etc. Ces formations attestent qu'il existe tous les passages entre les foyers d'explosion chevauchants et les plaines cratériformes, et que la Lune, en se séparant de la Terre, a emporté avec elle une grande quantité de gaz juvéniles, bien que, en raison de son poids total (3,4), il n'ait pu s'échapper que très peu de *nife*.

[1. Voir G. Ziemendorff, *Der Kontinentalschelf des Nordatlantischen Ozeans* (Beitr. z. Geophysik, X, 1910, p. 468-518, pl. XXV-XXVIII : 1 carte et 3 pl. contenant 67 profils du plateau continental, menés perpendiculairement à la direction des côtes).]

2. Fridtj. Nansen, *The Norwegian North Polar Expedition, 1893-1896; Scientific Results, IV. The Bathymetrical Features of the North Polar Seas, with a Discussion of the Continental Shelves and Previous Oscillation of the Shore-Line.* In-4°, 232 p., 29 pl. dont 9 cartes, Christiania, 1904.

[3. Ou plutôt dans la Baie du Polaris (81° 40′), à 550 m. d'altitude (Bessels); voir II, p. 734.]

[4. Et même jusqu'à 173 m., d'après J. W. Goldthwait; *The Upper Marine Limit at Montreal* (XIIe Congrès Géol. Internat., Guide Book of Excursions in Canada, 1913, n° 3, p. 119-122, 1 pl. carte).]

[5. Voir le t. II du présent ouvrage, p. 760.]

6. En discutant les mouvements observés sur les bords du Golfe de Botnie, il faut avant tout faire abstraction des traces préhistoriques, qui relèvent de conditions différentes. Ceux dont il est question ici ne peuvent guère avoir commencé bien longtemps avant la fin du XVIIe siècle (II, p. 667). Nous les considérons encore aujourd'hui comme un phénomène de vidange. Si l'on ne veut pas mettre un pareil résultat exclusivement sur le compte d'une

Sous les réserves qui découlent de ces données et d'autres constatations analogues, nous allons rechercher si certains événements qui, tous ou pour la plupart, sont plus anciens que les formations accessibles au marteau du géologue, ont également ou non laissé leurs traces dernières et extrêmes sur la face actuelle de la Terre.

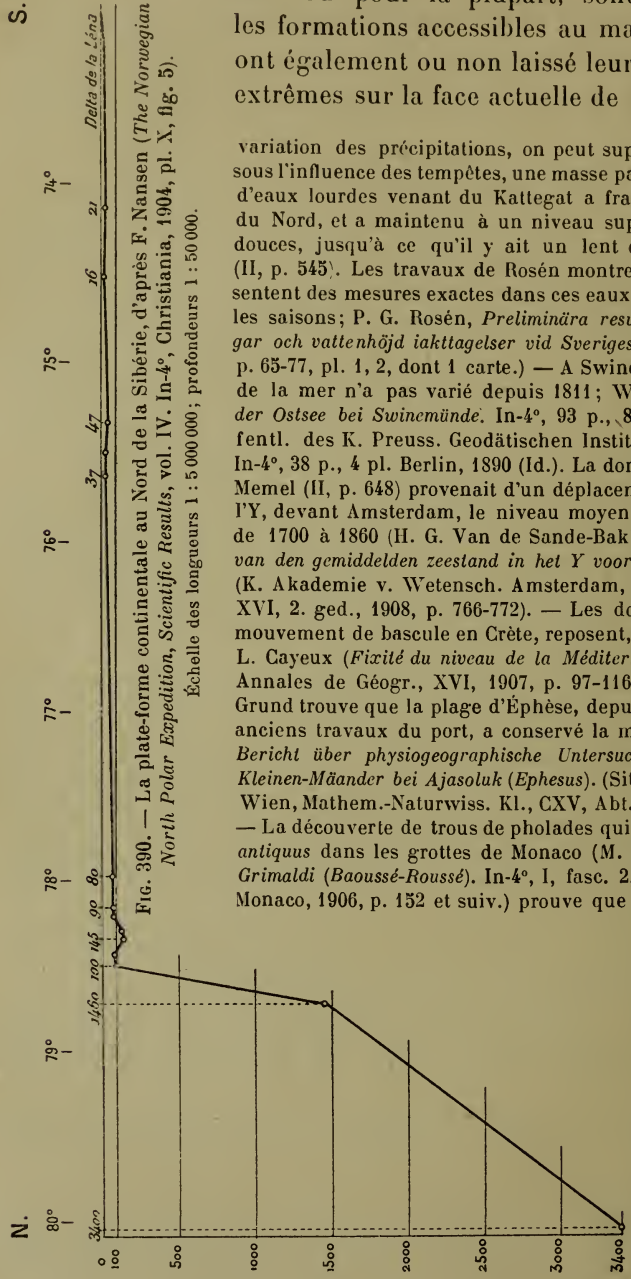


Fig. 390. — La plate-forme continentale au Nord de la Sibérie, d'après F. Nansen (*The Norwegian North Polar Expedition, Scientific Results*, vol. IV. In-4°, Christiania, 1904, pl. X, fig. 5). Échelle des longueurs 1 : 5 000 000; profondeurs 1 : 50 000.

variation des précipitations, on peut supposer qu'à cette époque, sous l'influence des tempêtes, une masse particulièrement abondante d'eaux lourdes venant du Kattegat a franchi le seuil des bassins du Nord, et a maintenu à un niveau supérieur les apports d'eaux douces, jusqu'à ce qu'il y ait un lent écoulement, par diffusion (II, p. 545). Les travaux de Rosén montrent les difficultés que présentent des mesures exactes dans ces eaux dont le niveau varie avec les saisons; P. G. Rosén, *Preliminära resultat af precisionsafvägningar och vattenhöjd iakttagelser vid Sveriges kuster* (Ymer, XVI, 1896, p. 65-77, pl. 1, 2, dont 1 carte.) — A Swinemünde, le niveau moyen de la mer n'a pas varié depuis 1811; W. Seibt, *Das Mittelwasser der Ostsee bei Swinemünde*. In-4°, 93 p., 8 pl. Berlin, 1881 (Veröffentl. des K. Preuss. Geodätischen Instituts); D°, *Zweite Mitteilung*. In-4°, 38 p., 4 pl. Berlin, 1890 (Id.). La donnée divergente relative à Memel (II, p. 648) provenait d'un déplacement de l'échelle. — Dans l'Y, devant Amsterdam, le niveau moyen des eaux n'a pas changé de 1700 à 1860 (H. G. Van de Sande-Bakhuyzen, *Omtrent de hoogte van den gemiddelden zeestand in het Y voor Amsterdam van 1700-1860* (K. Akademie v. Wetensch. Amsterdam, Verslagen, Afd. Natuurk., XVI, 2. ged., 1908, p. 766-772). — Les données de Spratt, sur un mouvement de bascule en Crète, reposent, comme l'a montré depuis L. Cayeux (*Fixité du niveau de la Méditerranée à l'époque historique*; Annales de Géogr., XVI, 1907, p. 97-116), sur une illusion. — A. Grund trouve que la plage d'Éphèse, depuis la construction des plus anciens travaux du port, a conservé la même hauteur; *Vorläufiger Bericht über physiogeographische Untersuchungen in Deltagebiet des Kleinen-Mäander bei Ajasoluk* (*Ephesus*). (Sitzungsber. K. Akad. Wiss. Wien, Mathem.-Naturwiss. Kl., CXV, Abt. I, 1906, p. 241-262, carte.) — La découverte de trous de pholades qui sont antérieurs à l'*Elephas antiquus* dans les grottes de Monaco (M. Boule, in : *Les Grottes de Grimaldi* (*Baoussé-Roussé*). In-4°, I, fasc. 2, *Géologie et Paléontologie*, Monaco, 1906, p. 152 et suiv.) prouve que l'on aboutit à des erreurs, quand on confond ces perforations avec les traits datant de l'époque historique. — Les travaux de MM. le Gal de Lamothe, Depéret, Choffat, Négris, etc., s'appliquant à de grandes étendues de côtes, permettront de séparer, dans les mouvements anciens de la Méditerranée, ceux qui sont d'origine eustatique et ceux qui se rattachent à des circonstances locales. [Voir les travaux suivants du Gal de Lamothe : *Note sur les relations statigraphiques qui paraissent exister entre les anciennes lignes de rivage de*

Kant savait déjà, en 1754, que l'action des marées ralentit la rotation de la Terre et que ce ralentissement continuera jusqu'à l'époque où notre globe tournera toujours le même côté vers la Lune[1]. Aujourd'hui on peut mesurer les marées corporelles des planètes[2]. Jacobi a démontré qu'un ellipsoïde à trois axes peut aussi répondre à la figure d'équilibre d'un liquide animé d'un mouvement de rotation. Poincaré a déterminé les conditions avec plus de précision encore. Ces découvertes ont été le point de départ d'une série de brillantes études, au cours desquelles G. H. Darwin a trouvé de nouveaux moyens de diviser l'éternité.

la côte algérienne et celles signalées sur la côte niçoise (Bull. Soc. Géol. de France, 4e sér., IV, 1904, p. 14-41, 1 fig.); *Les dépôts pleistocènes à Strombus bubonius Lmk. de la presqu'île de Monastir, Tunisie* (Ibid., 4e sér., V, 1905, p. 537-559, 2 fig., pl. XXI : carte); *Les anciennes lignes de rivage du Sahel d'Alger et d'une partie de la côte algérienne* (Mém. Soc. Géol. de France, 4e sér., I, n° 6, 1911, XII-288 p., 50 fig., 4 pl. dont 1 carte à 1 : 50 000); *Au sujet du déplacement de la ligne de rivage le long des côtes algériennes pendant le Post-Pliocène* (Bull. Soc. Géol. de France, 4e sér., XII, 1912, p. 343-348); — M. Gignoux, *Les couches à Strombus bubonius (Lmk.) dans la Méditerranée occidentale* (C. R. Acad. Sc., CLII, 1911, 1er sem., p. 339-341); *Résultats généraux d'une étude des anciens rivages dans la Méditerranée occidentale* (Annales Univ. Grenoble, XXIII, n° 1, 1911, p. 113-133); *Les formations marines pliocènes et quaternaires de l'Italie du Sud et de la Sicile*, Thèse de Doctorat (Annales Univ. Lyon, nouv. sér., I, fasc. 36, 1913. In-8°, XXIV-693 p., 42 fig., 21 pl. dont 1 carte et 4 pl. coupes). — Sur l'absence de preuves d'un déplacement récent des lignes du rivage, de part et d'autre de l'Océan, consulter : Douglas W. Johnson, *Fixité de la côte atlantique de l'Amérique du Nord* (Annales de Géogr., XXI, 1912, p. 193-212, 6 fig.); J. Welsch, *Fixité de la côte atlantique du Centre-Ouest de la France* (Ibid., XXIII, 1914, p. 193-218, 4 fig., pl. III, IV : phot.).]

1. Imm. Kant, *Untersuchung der Frage, ob die Erde in ihrer Umdrehung um die Achse... einige Veränderungen seit den ersten Zeiten ihres Ursprunges erlitten habe* (Frage- und Anzeigungsnachrichten, Königsberg, 1754, nos 23 et 24; reprod. dans ses *Sämmtliche Werke*, hrsg. von G. Hartenstein, I. In-8°, Leipzig, 1867, p. 179-186).

2. O. Hecker, *Beobachtungen an Horizontalpendeln über die Deformation des Erdkörpers unter dem Einfluss von Sonne und Mond*. In-8°, 95 p., 6 pl., Berlin, 1907 (Veröffentlichungen des K. Preuss. Geodät. Instituts, Neue Folge, n° 32; [II. Heft, unter Mitwirkung von O. Meissner. In-8°, p. 56-115, 10 pl., Berlin, 1911 (Ibid., n° 49); *Bericht über die Deformation des Erdkörpers unter dem Einfluss des Mondes nach den Potsdamer Beobachtungen* (C. R. XVIe Conférence générale de l'Assoc. Géod. Internat., réunie à Londres et à Cambridge du 21 au 29 septembre 1909, vol. II, Annexe B XIII, p. 285-291, pl. V-IX); — Ch. Lallemand, *Note sur les marées de l'écorce et l'élasticité du globe terrestre* (Ibid., vol. II, Annexe B XIV, p. 291-309); *Sur l'élasticité du globe terrestre* (C. R. Acad. Sc., CXLIX, 1909, 2e sem., p. 336-340); *Sur les marées de l'écorce et l'élasticité du globe terrestre* (Ibid., p. 388-392); *Sur les mouvements de la verticale dus à l'action de la Terre et du Soleil, la Terre étant supposée absolument rigide* (Ibid., p. 434-436); *Sur les marées théoriques du Géoïde, dans l'hypothèse d'une absolue rigidité de la Terre* (Ibid., p. 474-477); *Mouvements et déformations de la croûte terrestre. Marées de l'écorce. Exhaussements et affaissements séculaires du sol. Altérations lentes du géoïde* (Annuaire du Bureau des Longitudes pour 1909, p. B 1-57, 16 fig.); *La respiration de la Terre. L'écorce terrestre. Ses mouvements rythmés et ses déformations permanentes* (Revue scientifique, 5e sér., XII, 1909, p. 260-270, fig. 34-47); *Les marées de l'écorce et l'élasticité du globe terrestre* (Annuaire du Bureau des Longitudes pour 1910, p. B 1-90, 14 fig.); — A. E. H. Love, *The Yielding of the Earth to Disturbing Forces* (Proc. Royal Soc. London, ser. A, LXXXII, 1909, p. 73-88); — W. Schweydar, *Untersuchungen über die Gezeiten der festen Erde und die hypothetische Magmaschicht*. In-4°, IV-58 p., Potsdam, 1912 (Veröffentl. des K. Preuss. Geodät. Instituts, Neue Folge, n° 54); *Rapport sur la déformation de la Terre sous l'influence de l'attraction de la Lune et du Soleil* (C. R. XVIIe Conférence générale de l'Assoc. Géod. Internat., réunie à Hambourg du 17 au 27 septembre 1912, vol. I, p. 52-63).]

Les résultats principaux de Darwin sont les suivants. Le Globe terrestre a été réellement jadis un ellipsoïde à trois axes, animé d'une vitesse de rotation considérable. Bientôt se fit un étranglement (la « poire » de Jacobi), et *enfin un corps plus petit, la Lune, se détacha de l'équateur*. La masse de la Lune représente environ 1/80 de la masse du Globe terrestre restant. Chacun des deux corps a produit sur l'autre des marées qui, par suite de leur rapprochement et de l'état visqueux d'alors, atteignaient une grande puissance et déterminaient des frottements internes qui se sont traduits par un retard. L'action de la Terre sur la Lune a été beaucoup plus considérable que celle de la Lune sur la Terre. La Lune a commencé à s'éloigner. Sa vitesse de rotation diminua; de même celle de la Terre, qui ne comportait alors qu'un très petit nombre d'heures et qui en atteint aujourd'hui 24. Ces changements ont affecté des proportions différentes; ainsi, il est arrivé que la Lune a entièrement perdu sa rotation propre, et que la durée de la révolution de la Lune autour de la Terre (mois) a embrassé autrefois 29 jours (jours d'ailleurs plus courts), tandis qu'aujourd'hui elle n'en comprend plus que 27. Il arrivera une époque où le jour, par suite du ralentissement de sa rotation, atteindra finalement une durée de 55 heures; alors le mois comprendra aussi 55 heures; le jour et le mois seront d'égale durée, comme du temps de la poire de Jacobi, et dès lors la Terre tournera toujours la même face vers la Lune, du moins s'il n'intervient pas de perturbations, dues à d'autres corps célestes [1].

Un nouveau problème s'est trouvé posé au mathématicien par la disparition du centre de gravité commun; le géologue peut chercher trois genres de témoignages : le point d'attache d'où serait partie la

1. L'on ne peut songer à énumérer ici les titres que divers savants, comme Thomson et Schwarzschild, se sont acquis à côté de ceux qu'on vient de nommer, en contribuant à rendre ces notions plus claires. Un historique de leurs efforts a été donné par A. Prey dans l'*Astronomischer Kalender* de l'Observatoire de Vienne pour 1905, p. 114-125. Les résultats de G. H. Darwin ont été exposés pour la première fois en 1880 dans trois mémoires insérés aux *Philosophical Transactions* (vol. 170 A, 1879) et intitulés : *On the Bodily Tides of Viscous and Semi-elastic Spheroids, and on the Ocean Tides upon a Yielding Nucleus* (p. 1-35); *On the Precession of a Viscous Spheroid, and on the Remote History of the Earth* (p. 447-538); *Problems connected with the Tides of a Viscous Spheroid* (p. 539-593). Ces mémoires ont été suivis de plusieurs autres; voir, en particulier, *On Figures of Equilibrium of Rotating Masses of Fluid* (Phil. Trans, vol. 178 A, 1887, p. 379-428), et *On the Pear-shaped Figure of Equilibrium of a Rotating Mass of Liquid* (Ibid., vol. 198 A, 1902, p. 301-331); Observations de H. Poincaré : *Sur la stabilité de l'équilibre des figures pyriformes affectées par une masse fluide en rotation* (Ibid., p. 333-373). Un bref résumé a été donné par G. H. Darwin lors de la réunion de la *British Association for the Advancement of Science* au Cap en 1905 (Report of the 75th meeting, South Africa, *Address by Professor* G. H. Darwin, *President*, p. 3-32; reprod. dans Nature, London, LXXII, 1905, p. 441 et suiv.); tous ses écrits relatifs à cette question sont réunis dans ses *Scientific Papers*. Gr. in-8°, Cambridge, t. I. et II déjà parus [I. *Oceanic Tides and Lunar Disturbances of Gravity*. XIV-463 p., 1907; II. *Tidal Friction and Cosmogony*. XVI-516 p., 1908].

Lune, les traces de marées terrestres plus fortes que de nos jours, enfin les indices d'une rotation plus rapide.

Les tentatives ne manquent pas. Dès 1881, Robert Ball pensait que la cicatrice du Globe terrestre, non encore solidifié, se serait vite refermée; mais, comme l'amplitude des marées diminue en raison directe de la troisième puissance des distances, on devrait, pour la période du début, admettre des ondes de marée d'une amplitude tout à fait extraordinaire.

Lorsque la distance de la Lune était 1/6 de ce qu'elle est aujourd'hui, les marées sur la Terre auraient encore dépassé 600 pieds. Des vagues formidables de laves auraient balayé la Lune. Edw. Hull en tira comme conséquence la formation de grandes surfaces d'abrasion. Darwin chercha à atténuer ces résultats. Les hautes marées admises par Ball n'auraient pu se produire qu'à l'époque où l'ellipticité de la Terre était à peu près 12 fois celle d'aujourd'hui; il est probable qu'un tel état sera soustrait, à tout jamais, à l'observation des géologues. Les mouvements de l'atmosphère, tempêtes et précipitations météoriques, ont dû être extrêmement violents. Osm. Fisher est parti de l'hypothèse que le fond des océans est constitué par des laves basiques denses. La séparation de la Lune aurait consisté dans l'écorçage d'une couche de puissance inégale; les parties les plus épaisses seraient représentées par nos mers actuelles; les parties les plus légères (saliques) auraient été enlevées; et des laves basiques jaillissantes auraient comblé les bassins[1].

Plus tard, Jeans a fait remarquer que, dans les recherches dont nous venons de parler, on n'avait pas assez tenu compte de l'influence de la gravitation. Sollas a cherché à serrer de près le problème au moyen de comparaisons morphologiques, et ces deux savants sont arrivés par des voies différentes à la conclusion que la forme actuelle de la Terre permet encore de reconnaître des vestiges de la poire : l'hémisphère continental représenterait le gros bout, et un point situé quelque part dans l'Océan Pacifique correspondrait à la queue. Lapworth a exprimé l'idée que la masse des terres arctiques pourrait bien jouer ce rôle de gros bout[2].

Pour nous, une seule chose est certaine, c'est que la distribution

1. R. S. Ball, *A Glimpse through the Corridors of Time* (Nature, London, XXV, 1882, p. 103-107); Edw. Hull, *Ancient Tidal Action and Planes of Marine Denudation* (Ibid., p. 177-178); G. H. Darwin, *On Geological Importance of the Tides* (Ibid. p. 213-214); O. Fisher, *On the Physical Cause of the Ocean Basins* (Ibid., p. 243).

2. J. H. Jeans, *On the Vibrations and Stability of a Gravitating Planet* (Proc. Royal Soc. London, LXXI, 1903, p. 136-138 [et Phil. Trans. Royal Soc., Ser. A., vol. 201, p. 157-184]); W. J. Sollas, *The Figure of the Earth* (Quart. Journ. Geol. Soc., LIX, 1903, p. 180-188); Ch. Lapworth, ibid., p. 188.

des grandes dépressions océaniques n'est pas fortuite, et qu'elle doit être le résultat d'un mode de développement inhérent à la nature de la planète, développement qui, aujourd'hui encore, n'est pas entièrement achevé. Toute tentative sérieuse ayant pour but de perfectionner nos connaissances sur ce mode de développement et de relier, si la chose est possible, les résultats de l'Analyse à ceux de la Géologie, ne peut donc qu'être bien accueillie.

Parmi d'autres travaux dus à des mathématiciens, nous ne considé-

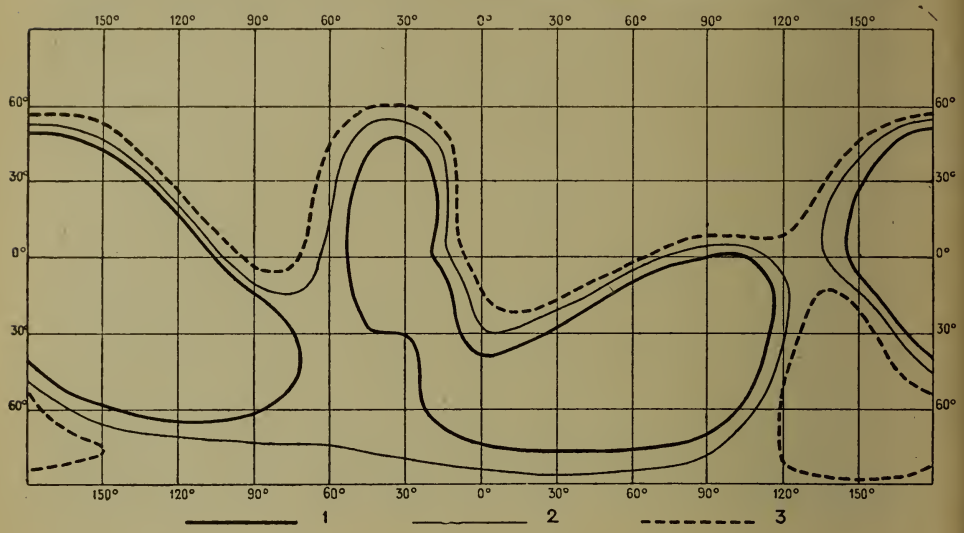


Fig. 391. — Harmoniques sphériques des trois premiers degrés, d'après A. E. H. Love (*Phil. Transactions, Royal Soc. London*, Ser. A., vol. 207, 1907, p. 237, fig. 3).

La courbe 1 relie les points où l'inégalité harmonique calculée atteint 10 p. 100 de sa valeur maximum *au-dessous* de 0; la courbe 2, les points où cette inégalité est égale à 0; la courbe 3, les points où elle atteint 10 p. 100 de sa valeur maximum *au-dessus* de 0.

rerons ici que ceux de Love. Ce savant admet comme données les conditions suivantes : une position excentrique du centre de gravité, une tendance acquise vers la forme ellipsoïdale, l'influence primitive et actuelle de la Lune, et la rotation de la planète. Il cherche à montrer par la voie analytique que la Terre, pour atteindre l'état actuel, a dû passer par trois phases (*harmoniques sphériques*, fig. 391)), qui, superposées l'une à l'autre, donnent cet état actuel (fig. 392). La première harmonique est la plus simple; elle correspond, à peu près, à la figure désignée par Dante comme impossible (II, p. 9, fig. 2). Le centre de gravité est excentrique; c'est le centre de l'hydrosphère, qui adhère à la planète « comme une goutte de liquide à un grain de plomb couvert de suif ». Le centre de la terre ferme se trouverait quelque part aux environs de Ouadi-Halfa. La deuxième harmonique exige deux dépressions aux anti-

podes, aux points où l'ellipsoïde de la lithosphère plonge sous le sphéroïde de l'eau; l'une de ces dépressions serait l'Océan Pacifique, l'autre la Méditerranée et ses alentours, l'Afrique et certaines parties de l'Océan Atlantique et de l'Océan Indien; cette phase paraît moins nettement marquée (l'Afrique serait submergée). La troisième harmonique présente un centre ovale de terres dans certaines parties de l'Europe, de l'Asie et de l'Afrique; ce centre est entouré d'une dépression, formée des Océans Arctique, Atlantique et Indien, auxquels s'ajoutent l'Afrique

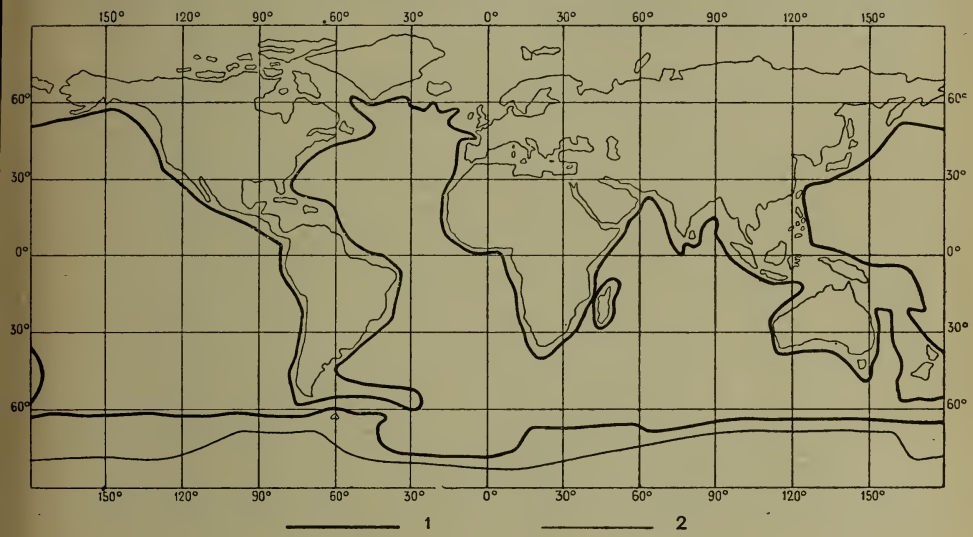


Fig. 392. — Allure de la ligne définissant le niveau moyen de la surface solide du Globe terrestre, d'après A. E. H. Love (*Phil. Transactions, Royal Soc. London,* Ser. A, vol. 207, 1907, p. 237, fig. 4).

Le trait fin (n° 2) représente les rivages actuels; le trait fort (n° 1) la ligne de 8 400 pieds anglais (2 560 m.) au dessous du niveau de la mer (*mean sphere-level*).

Occidentale, l'Europe Septentrionale et Occidentale, et des fragments de l'Asie. Puis viendrait un anneau saillant, qui traverserait les deux Amériques, l'Antarctide, l'Australie et la Nouvelle-Guinée. Finalement, nous aurions l'Océan Pacifique, considéré ici comme le gros bout ou la base de la poire. Love ajoute que les variations de la Terre ont été attribuées à deux causes : la gravitation et la tectonique. La gravitation influencerait les masses et déplacerait les Océans; quant à la tectonique, on devrait lui attribuer la formation des montagnes et peut-être celle des dépressions. Les variations d'ordre tectonique sont mises sur le compte du refroidissement et de la contraction de la Terre, sauf quand elles accompagnent à titre d'incidents l'action de la gravitation [1].

1. A. E. H. Love, *The Gravitational Stability of the Earth* (Phil. Trans., vol. 207 A, 1907, p. 171-241); *Address by the President. Section A — Mathematical and Physical Science* [*A Dyna-*

Les résultats de Love sont considérés par l'auteur lui-même comme des tâtonnements, et il n'y a pas lieu d'en soumettre la concordance avec la nature à une critique plus serrée. Il suffisait de montrer ici comment le mathématicien arrive à concevoir des déformations de la Terre qui, par leur étendue et leur importance, sont bien plus considérables que les dislocations reconnues par le géologue, et à côté desquelles, en fait, les phénomènes tectoniques sont réduits au rôle de simples incidents. Mais la liaison entre les deux ordres d'études manque encore, et l'on ne peut formuler dans cette voie que quelques indications.

1. On connaît dans le groupe des *tectites* des corps jumeaux, prêts à se séparer par étranglement. Ces météorites vitreuses semblent dispersées, d'après l'état actuel des connaissances, sur une longue bande qui va de l'Australie à Billiton, puis à la Moravie, au Sud de la Bohême, et peut-être même jusqu'à Kristianstad en Scanie. De tels corps jumeaux n'ont été rencontrés jusqu'à présent que parmi les australites. R. H. Walcott a, dès 1898, attribué leur formation à une violente rotation et tenu pour probable le déchirement des doubles massues. F. E. Suess les a comparés à l'ellipsoïde étranglé de Jacobi et aux étoiles doubles. C'est comme si la nature avait institué une expérience à notre usage[1].

mical Theory of the Shape of the Earth] (British Assoc. Adv. Sc., Rept. 77th Meeting, Leicester, 1907, p. 427-438, fig. 1-15); et *The Figure and Constitution of the Earth* (Proc. Royal Institution of Great Britain, XIX, 1908-1910, p. 92-106, 3 fig.). [Voir aussi son ouvrage, intitulé : *Some Problems in Geodynamics*. In-8°, XXVII-180 p. Cambridge (England), 1911 (« General Theory of a Gravitating Compressible Planet — Effect of Compressibility on Earth Tides — Vibrations of a Gravitating Compressible Planet », etc.).] — Parmi les derniers mémoires parus, on peut encore signaler les suivants : L. Waagen, *Wie entstehen Meeresbecken und Gebirge?* (Verhandl. K. K. Geol. Reichsanst., 1907, p. 99-121), travail conçu du point de vue de la théorie de la contraction, et traitant plutôt des rapports avec les plissements; R. D. Oldham, *The Constitution of the Interior of the Earth, as revealed by Earthquakes (Second Communication). Some New Light on the Origin of the Oceans* (Quart. Journ. Geol. Soc. London, LXIII, 1907, p. 344-350), discute le différence de propagation des ondes séismiques au-dessous de l'Océan Pacifique et au-dessous du Continent Eurasiatique; W. H. Pickering, *The Place of Origin of the Moon*; *the Volcanic Problem* (Journ. of Geol., Chicago, XV, 1907, p. 23-38, 4 fig. et cartes [trad. sous le titre de : *L'origine de la Lune et le problème des Volcans* (Bull. Soc. Belge d'Astronomie, XII, 1907, p. 377-387, 3 fig.; XIII, 1908, p. 71-74)]); le point d'où la Lune se serait détachée coïnciderait avec le centre de l'hémisphère océanique, à environ 1 000 milles (1 600 kilomètres) au N.E. de la Nouvelle-Zélande, par 25° de lat. S. L'hémisphère terrestre se serait brisé en deux, d'où la symétrie des contours atlantiques. [Voir aussi : H. Ebert, *Der Ursprung des Mondes und das Vulkanproblem nach William H. Pickering* (Beitr. z. Geophysik, X, 1909, Kl. Mitteil., p. 1-10).]

1. R. H. Walcott, *The Occurrence of so-called Obsidian Bombs in Australia* (Proc. Royal Soc. Victoria, New Ser., XI, 1898, p. 23-53, pl. III, IV, en particulier p. 35); F. E. Suess, *Die Herkunft der Moldavite und verwandter Gläser* (Jahrb. K. K. Geol. Reichsanst., L, 1900, p. 193-382, pl. XI-XVIII, en particulier note de la p. 339); Fr. Eichstädt, *En egendomlig af rent glas bestående meteorit, funnen i Skåne* (Geol. Fören. i Stockholm Forhandl., XXX, 1908, p. 323-330, pl. 3, 4). — Les *buttons* se présentent généralement entourés d'une ceinture équatoriale large et aplatie, qui doit avoir été produite par la résistance de l'air. Walcott figure une météorite jumelle également pourvue d'une ceinture équatoriale; dans cet exemple, la rotation avait sans doute cessé avant la séparation. Dans un autre *button*, la

2. La Lune, avec sa densité de 3,4, est plus légère que toutes les planètes intérieures et plus lourde que toutes les planètes extérieures. L'on songe une fois de plus aux cristaux légers de péridot dans le bain lourd de *nife* que montrent certaines météorites, et à la limite précise qu'assigne Wiechert, vers 1500 kilomètres de profondeur, au noyau métallique dense de la Terre, au-dessous de l'enveloppe pierreuse de densité 3,4. C'est de cette dernière principalement que la Lune serait née. A l'époque où la Lune s'est détachée du corps primitif, le noyau métallique devait être déjà constitué pour la majeure partie. Presque toutes les roches simiques de la surface de la Terre restent d'ailleurs au-dessous de 3,4 et les cendres blanches attestent que la Lune, lors de sa séparation, a emporté aussi des matières saliques. Comme elle ne peut pas avoir beaucoup de *nife* et comme elle possédait une masse suffisante de gaz juvéniles, on est amené à supposer que, sur la Terre également, ces gaz et, avec eux, nos éruptions volcaniques pourraient bien venir, non des profondeurs du *nife*, mais du *sima*, c'est-à-dire de la zone du Globe terrestre s'étendant jusqu'à 1 500 kilomètres au-dessous de l'enveloppe salique.

3. On pourrait peut-être citer comme exemples d'anciennes abrasions, provoquées par des marées plus puissantes, les surfaces précambriennes du Canada et de la Russie du Nord; toutefois, celles-ci ont elles-mêmes été précédées de plissements et de discordances[1]. Les

trace prolongée de l'attache (la queue de la poire) est encore visible; en même temps, la ceinture équatoriale s'est séparée comme un anneau de Saturne et est ouverte sur l'emplacement du manche. [— Sur les météorites vitreuses, consulter en outre les travaux suivants : E. Weinschenk, *Die kosmische Natur der Moldawite und verwandten Gläser* (Zentralblatt f. Mineralogie, 1908, p. 737-742); Franz E. Suess, *Notizen über Tektite* (Ibid., 1909, p. 462-467); E. Weinschenk, *Zum Streit über die « Echtheit » der Moldawite* (Ibid., 1909, p. 545-550); F. E. Suess, *Ueber Gläser kosmischer Herkunft*. Vortrag, gehalten bei der 81. Versammlung Deutsch. Naturforscher u. Aerzte, Salzburg, 23. Sept. 1909 (Verhandl., I. Teil, Leipzig, 1910, p. 150-163, 5 fig.); G. P. Merrill, *On the supposed Origin of the Moldavites and like sporadic Glasses from various sources* (Proc. U. S. Nat. Mus., XL, 1911, p. 481-486, pl. 61, 62); F. Berwerth, art. *Meteoriten* (Handwörterbuch der Naturwissenschaften, VI. In-8°, Jena, 1911, p. 845-862); F. Berwerth, *Fortschritte in der Meteoritenkunde seit 1900* (in : Fortschritte der Mineralogie, Kristallographie und Petrographie, herausg. v. G. Linck, I, Jena. In-8°, 1911, p. 276-281); E. J. Dunn, *Australites* (Bull. Geol. Survey of Victoria, n° 27, 1912. In-8°, 23 p., 17 pl., 1 carte); et surtout F. E. Suess, *Rückschau und Neueres über die Tektitfrage* (Mitteil. Geol. Gesellsch., Wien, VIII, 1914, p. 51-121, pl. I-III; renferme une importante bibliographie).]

[1. Sur l'histoire et les subdivisions des terrains pré-cambriens du Bouclier Baltique et du Bouclier Canadien, voir, dans le *Handwörterbuch der Naturwissenschaften* (in-8°, Jena), les articles de J. J. Sederholm (I, 1911, p. 535-542 : « Archäicum » ; VII, 1912, p. 1088-1095 : « Präcambrium » ; bibliographie) et les mémoires suivants du même auteur : *Fennoskansdia, Les roches préquaternaires* (Atlas de Finlande, 2e éd., in-folio, Helsingfors, 1910, carte n° 5; texte, in-8°, I, p. 1, 39 fig. 1-20); *Subdivision of the Pre-Cambrian of Fenno-Scandia* (C. R. XIe sess. Congrès Géol. Internat., Stockholm, 1910, I, p. 683-698). Voir aussi W. G. Miller, *The Principles of Classification of the Pre-Cambrian Rocks, and the Extent to which it is possible to establish a Chronological Classification* (Ibid., p. 673-682, 2 fig. cartes); A. P. Coleman, *Methods of Classification of the Archæan of Ontario* (Ibid., p. 721-728). — Consulter en outre :

couches aurifères du Transvaal présentent aussi des traces d'un arasement énergique.

4. Darwin dit que si les marées terrestres ont influencé l'ordonnance des chaînes de montagnes, on devrait s'attendre à observer une direction N.-S. à l'équateur, une direction N.E. vers le Nord et une direction S.E. vers le Sud. Cette hypothèse se vérifie pour presque tout le domaine pacifique. L'avancée des Antilles vers l'Est[1], la disposition de tous les arcs de l'Asie Orientale et des Océanides, en particulier l'ouverture de la plupart des virgations asiatiques vers l'Ouest et le Sud-Ouest, en sont des confirmations. Mais il ne manque pas non plus d'exceptions; déjà la Chaîne du Saint-Élie est plissée vers l'Ouest et le Sud-Ouest[2], de même que le grand Arc Birman[3] et l'Oural[4]. Toute la partie des Altaïdes Occidentales située en dehors du horst d'Azov se trouve en contradiction avec cette hypothèse[5].

On a cherché à expliquer cet arrangement par la rotation de la Terre. Douvillé a pris comme bases la vitesse de rotation primitive plus grande et une direction prédominante E.-W., Prinz une direction prédominante N.-S.[6]. On pourrait encore indiquer le plissement, dirigé vers le Sud, de la Chaîne des États-Unis[7], située au-delà du pôle, de même que celui des Iles Aléoutiennes[8] et des arcs de bordure méridionaux, et surtout les Montagnes du Cap, poussées vers le Nord[9]; les exceptions restent les mêmes.

5. Dans les territoires précambriens et dans les horsts, on peut reconnaître les fragments de plans antérieurs, et les affaissement subséquents, bien localisés, sont indépendants de ce dessin primitif. En Europe, l'état des choses est particulièrement frappant grâce à la façon dont les Calédonides, dans le Nord, et les Saharides, dans le Sud, sont recoupées par les Altaïdes[10]. Le contraste entre les directions qui règnent en Bohême et celle des Alpes Orientales, constitue un autre

W. Ramsay, *Ueber die präcambrischen Systeme im östlichen Teile von Fennoskandia* (Centralbl. f. Min., 1907, p. 34-41, 1 fig. carte); A. G. Högbom, *Precambrian Geology of Sweden* (Bull. Geol. Inst. Univ. of Upsala, X, 1910, p. 1-80, fig. 1-20, pl. I : carte); le même, *Fennoskandia* (Handbuch der Regionalen Geologie, herausg. von G. Steinmann u. O. Wilckens, Heft 13 (Bd. IV, 3). In-8°, Heidelberg, 1913, p. 13-44 et 119-122; bibliographie.]

[1. Voir III, 3e partie, p. 1299.]

[2. III, 3e partie, p. 1180-1188.]

[3. III, 4e partie, p. 1409-1410.]

[4. III, 1re partie, p. 480.]

[5. III, 2e partie, p. 533.]

6. H. Douvillé, *Failles et plis* (C. R. Acad. Sc., CXXXVIII, 1904, 1er sem., p. 645-646); W. Prinz, *Sur les similitudes que présentent les cartes terrestres et planétaires* (*Torsion apparente des Planètes*). (Annuaire de l'Observatoire Royal de Bruxelles, 58e année, 1891, p. 304-337, 7 fig., 2 pl.).

[7. Voir III, 2e partie, p. 927-931.]

[8. III, 3e partie, p. 1130-1132.]

[9. III, 3e partie, p. 995.]

[10. III, 2e partie, p. 679.]

exemple, de même que, dans l'Amérique du Nord, le contraste de la Laurentia avec les Appalaches [1], etc. *D'après cela, on doit reconnaître que la Face de la Terre porte l'empreinte de plusieurs plans successifs.*

6. La dislocation qui a précédé le dépôt du Carbonifère supérieur possède une extension si extraordinaire que l'on pourrait la considérer comme une déformation de la surface terrestre. Si cette dislocation se distingue par son étendue, les mouvements tertiaires des Alpides se font remarquer par leur intensité; ils ont dû, de même, avoir pour conséquence une distorsion très générale. Les accidents antérieurs au Néocomien dans l'Ouest de l'Amérique du Nord [2] et d'autres exemples importants pourraient être cités. Tous ces phénomènes ont dû être plus récents que les changements de forme des harmoniques sphériques. Je ne suis pas en état de juger s'ils en sont des conséquences.

II

Compensation isostatique des Montagnes. Théorie de Pratt; travaux de Sterneck et de Helmert. — Hypothèse de l'Isostasie. Résultats obtenus pour des massifs isolés : Iles Hawaii, Etna. — Méthode de réduction des observations; formule de Bouguer, modifiée par Clarke et par Faye; son application aux États-Unis. Accord de la Géodésie et de la Géologie. Interprétation des faits observés dans le Tyrol. — Travaux récents sur l'Inde : l'Himalaya et son avant-fosse; déviations de la verticale. — Données fournies par la balance de torsion. Insuffisance des mesures pendulaires.

Compensation des Continents. Application de l'hypothèse isostatique à l'Asie. — Déviations de la verticale aux États-Unis; études de Tittmann et Hayford. — Mesures pendulaires exécutées sur les côtes; travaux de Hecker, ses déterminations dans l'Océan Indien, l'Atlantique et le Pacifique. Conclusions qui s'en dégagent sur la constitution probable du fond des mers. — Observations sur la densité des roches. — Histoire de l'Océan Indien et du Continent de Gondwana [3].

Compensation isostatique des Montagnes. — Pratt a trouvé que l'Himalaya, dans la localité de Kaliana, à environ 64 kilomètres au Sud de son pied, ne dévie le fil à plomb que de 6 ou 7″, au lieu de lui faire

[1. Voir I, p. 741, fig. 103.]

[2. Eliot Blackwelder, *A Summary of the Orogenic Epochs in the Geologic History of North America* (Journ. of Geol., XXII, 1914, p. 633-654; en particulier p. 643 et suiv.).]

[3. Sur les questions d'ordre général traitées dans ce paragraphe, consulter : Commandant R. Bourgeois, *L'état actuel de la Géodésie* (Revue générale des Sc. pures et appl., XV, 1904, p. 376-386, 9 fig.); O. Zanotti Bianco, *I concetti moderni sulla figura matematica della Terra. Appunti per la storia della Geodesia* (Atti R. Accad. Sc. Torino, XXXIX, 1903-4, p. 689-715; XL, 1904-5, p. 18-42; XLI, 1905-6, p. 21-43 et 288-308); A. Börsch, *Die Grundlagen der Bestimmung der Erdgestalt* (Verhandl. des III. Internat. Mathematiker Kongr. in Heidelberg, vom 8. bis 13. August 1904. Gr. in-8°, Leipzig, 1905, p. 459-475); A. Galle, *Neuere Arbeiten auf dem Gebiete der Erdmessung* (Zeitschr. Gesellsch. f. Erdkunde, Berlin, 1906, p. 39-52); Capitaine G. Perrier, *La figure de la Terre. Les grandes opérations géodésiques. L'ancienne et la nouvelle mesure de l'arc de Quito* (Revue de Géogr., publiée sous la direction de Ch. Velain, II, 1908, p. 201-508, nombreuses fig. et pl.); F. R. Helmert, *Die Internationale Erdmessung in unsrer Zeit* (Deutsche Revue, Stuttgart und Leipzig, Januar 1909, p. 1-11).]

subir une déviation de 27″, comme l'exigerait la théorie. Cette constatation amena Pratt, en 1852, à conclure que l'Himalaya ne possède pas une gravité normale. Mais le savant astronome alla plus loin, et il énonça l'idée que la répartition des masses devait être la même tout autour du

Fig. 393. — Déterminations de la pesanteur faites autour du massif de l'Oetzthal (Alpes Autrichiennes), d'après F. R. Helmert (*Die Schwerkraft im Hochgebirge, insbesondere in den Tyroler Alpen.* In-8°, Berlin, 1890, pl. I).

1. Gneiss et schistes cristallins; 2. Porphyre quartzifère de Bozen; 3. Calcaires et dolomies mésozoïques (Trias, Rhétien, Jurassique, Crétacé); 4. D° avec intercalations de laves et de mélaphyres. Échelle de 1 : 1 200 000.

Globe : au-dessous des continents, il y aurait, en profondeur, diminution de la masse ; sous les mers, au contraire, il y aurait, par compensation, excès de masse. Pratt donna à cette hypothèse le nom de *théorie de la compensation*[1]. Les mesures pendulaires exécutées, de 1865 à 1873,

[1. Archdeacon J. H. Pratt, *On the Attraction of the Himalaya Mountains, and of the elevated regions beyond them, upon the Plumb-line in India* (Phil. Trans. Royal Soc. London,

par Basevi et par Heaviside, ont effectivement mis en évidence, dans les avant-monts, une diminution de masse; la station de Moré (4 696 m), la plus élevée et la seule qui soit située à l'intérieur des hautes chaînes, donna un déficit particulièrement important. Les opinions furent hésitantes, jusqu'à ce que Sterneck eût imaginé un dispositif pendulaire plus pratique et plus précis, avec lequel il exécuta de nombreuses mesures en Autriche, pendant que Helmert mettait en œuvre des méthodes mathématiques très ingénieuses. Un calcul de Helmert, ayant pour bases les mesures prises par Sterneck dans 37 stations situées au cœur des Alpes Tyroliennes, sur une ligne longue de 356 kilomètres entourant

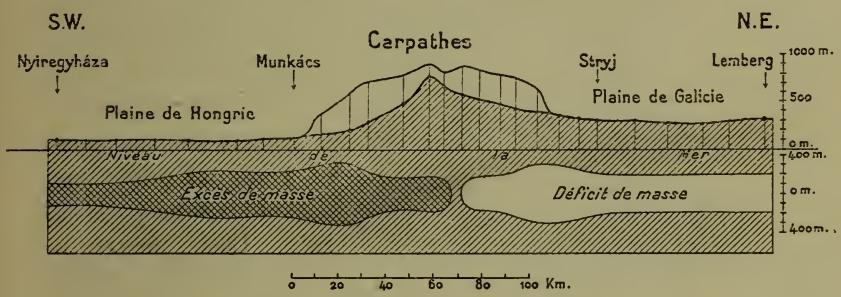


Fig. 394. — Anomalies de la pesanteur dans les Carpathes, d'après R. von Sterneck (*Mittheil. K. K. Militär-Geogr. Institutes*, Wien, XII, 1892, pl. X, fig. III).

Échelle des distances 1 : 3 200 000; hauteurs 1 : 80 000. — Les ordonnées répondent à l'emplacement de toutes les stations où la valeur de g a été mesurée.

en arc de cercle les massifs de l'Oetzthal et du Stubai (fig. 393), eut un profond retentissement, lors de sa publication en 1892. Le résultat auquel aboutissait ce travail, c'est qu'il y avait là également un déficit, qui, d'ailleurs, ne compensait pas exactement la masse des montagnes. Ce déficit devait affecter les couches supérieures de l'écorce terrestre, car il n'était plus sensible que très faiblement à Munich et à Padoue. La densité semblait être plus forte dans des couches mal connues situées au-dessous des mers que sous les continents. Le déficit fut évalué, pour les Alpes Tyroliennes, à une tranche de 1 200 mètres d'épaisseur avec la densité 2,4 [1].

vol. CXLV, 1855, pl. 1, p. 53-100, 7 fig.) et *On the variation of Gravity at Kaliana, Kalianpoor and Damargida, produced by the irregularities of the Earth's Crust.* In-4°, 22 p. Dehra Dun, 1869. — Pratt semble avoir eu pour précurseur dans cette voie, dès 1849, l'astronome français Petit, qui, constatant que la masse des Pyrénées est trop faible pour son volume, formulait l'hypothèse qu'il doit exister un vide sous cette chaîne de montagnes; Petit, *Sur la densité moyenne de la chaîne des Pyrénées et sur la latitude de l'Observatoire de Toulouse* (C. R. Acad. Sc., Paris, XXIX, 1849, 2e sem., p. 729-734).]

1. F. R. Helmert, *Die Schwerkraft im Hochgebirge insbesondere, in den Tyroler Alpen, in geodätischer und geologischer Beziehung* (Veröffentl. des K. Preuss. Geodät. Instituts u. Centralbureaus d. Internat. Erdmessung). In-4°, IV-52 p., 4 pl. dont 1 carte, Berlin, 1890.

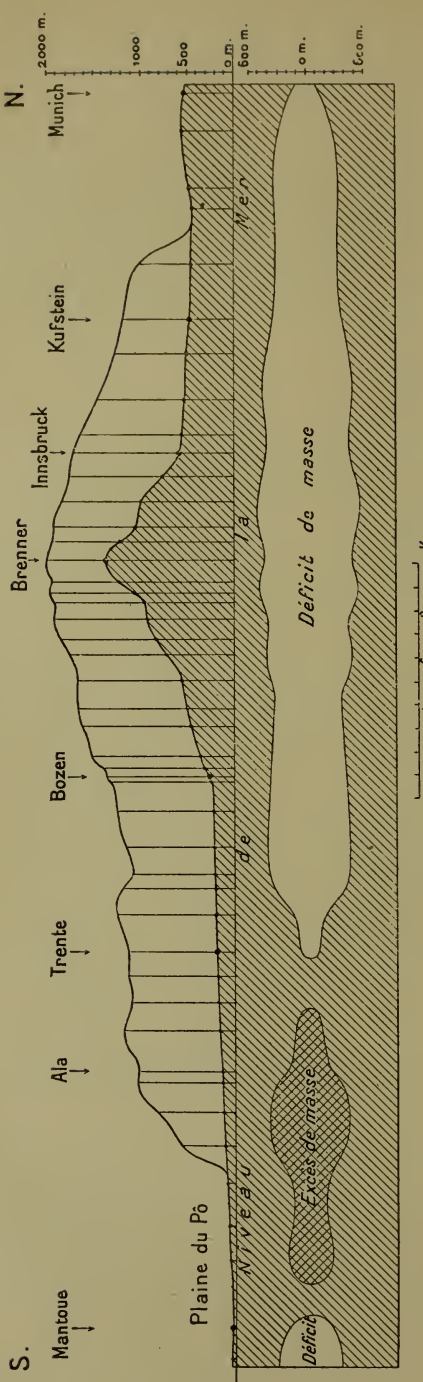


Fig. 395. — Anomalies de la pesanteur dans les Alpes Orientales, d'après R. von Sterneck (*Mittheil. K. K. Militär-Geogr. Institutes*, Wien, XII, 1892, pl. X, fig. v).

Échelle des distances 1 : 3 200 000; hauteurs 1 : 80 000. — Mêmes dispositions que pour la fig. 394.

L'opinion de Dutton, que l'avant-pays s'affaisse et que les montagnes s'élèvent, repose sur une idée analogue. Le géologue américain a désigné ce processus sous le nom d'*isostasie*, et crut d'abord qu'une partie de cette action était attribuable aux sédiments descendus des montagnes, tout en admettant que, dans les pays de plateaux, il y aurait lieu de faire intervenir en outre une force soulevante particulière [1].

Cette théorie trouva, principalement en Amérique, un accueil très favorable [2]. La situation des Appalaches parut s'accorder particulièrement

1. C. E. Dutton, *On Some of the Greater Problems of Physical Geology* (Bull. Phil. Soc. Washington, XI, 1889, p. 51-64).

[2. Voir surtout les travaux suivants de John F. Hayford : *The Geodetic Evidence of Isostasy* (Proc. Washington Acad. Sc., VIII, 1906, p. 25-40): *The Earth a Failing Structure* (Bull. Phil. Soc. Washington, XV, 1907, p. 57-74); *The Relation of Isostasy to Geodesy, Geophysics and Geology* (Science, New York, new ser., XXXIII, 1911, p. 199-208). — Pour une critique des conclusions formulées par Hayford, voir Harmon Lewis. *The Theory of Isostasy* (Journ. of Geol., Chicago, XIX, 1911, p. 603-626); réplique de John F. Hayford, *Isostasy. A Rejoinder to the Article by Harmon Lewis* (Ibid., XX, 1912, p. 562-578). — Consulter en outre : Bailey Willis, *What is Terra firma? A Review of*

bien avec elle. Mais à côté s'élevèrent des doutes. Tandis que les mesures se multipliaient, on ne trouvait presque toujours qu'une compensation partielle. Il aurait fallu imaginer des cavités de 1 000 mètres

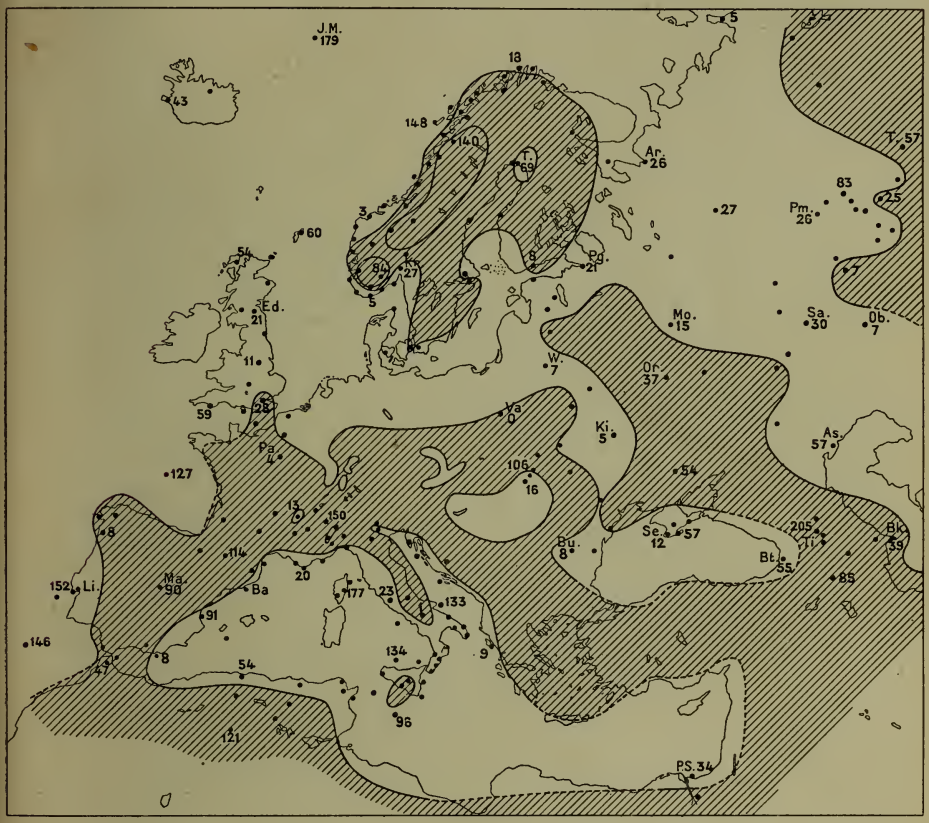


Fig. 396. — Anomalies de la pesanteur en Europe, d'après G. Costanzi (*La distribuzione della gravità in Europa, specialmente in relazione coi sollevamenti montuosi.* Appendice. In-8°, Pavia, 1910, pl. I).

Grisé : régions à anomalie négative; blanc : régions à anomalie positive. Les anomalies sont exprimées en unités de la troisième décimale (*cm. sec*²). En raison de l'échelle, on n'a pu indiquer sur cette carte qu'une partie des stations utilisées pour la construire, notamment dans l'Europe Centrale, et l'on s'est borné à transcrire quelques chiffres caractéristiques. — Échelle 1 : 45 000 000.

de hauteur, inadmissibles aux yeux des géologues, et l'on ne pouvait pas indiquer davantage des roches de densité assez minime pour couvrir le

Current Research on Isostasy (Smithsonian Report for 1910, p. 391-406, pl. 1-3); — H. F. Reid, *Isostasy and Mountain Ranges* (Proc. Amer. Phil. Soc., L, 1911, p. 444-451); — Joseph Barrell, *The Strength of the Earth's Crust. I. Geologic Tests of the Limits of Strength* (Journ. of Geol., XXII, 1914, p. 28-48); *II. Regional Distribution of Isostatic Compensation* (p. 145-165); *III. Influence of Variable Rate of Isostatic Compensation* (p. 209-236); *IV. Heterogeneity and Rigidity of the Crust as measured by Departures from Isostasy* (p. 289-314); *V. The Depth of Masses producing Gravity Anomalies and Deflection Residuals* (p. 441-468 et 537-555); *VI. Relations of Isostatic Movements to a Sphere of Weakness — the Asthenosphere* (p. 655-683); *VII. Variation of Strength with Depth as shown by the Nature of Departures from Isostasy* (p. 729-741; XXIII, 1915, p. 27-44; etc.).]

déficit. La suite des travaux de Sterneck a révélé beaucoup de faits inattendus. Dans les Carpathes, contrairement à qui se passe dans le Tyrol, on trouva un déficit sous l'avant-pays; ce déficit s'étend, en partant du Nord, jusque dans les montagnes près de Slawsko (594 m.),

1 2 3 4 5

Fig. 397. — Anomalies de la pesanteur autour de la Chaîne des Alpes, d'après G. Costanzi (*La distribuzione della gravitâ in Europa specialmente in relazione coi sollevamenti montuosi.* Appendice. In-8°, Pavia, 1910, pl. II).

Voir la légende de la fig. 396. — 1. Régions à anomalie positive; 2 à 5. Régions à anomalie négative (2. De 0 à 50; 3. De 50 à 100; 4. De 100 à 150; 5. Au-dessus de 150). — Échelle de 1 : 6 000 000.

augmente même et cesse « tout à fait brusquement » à environ 20 kilomètres au Nord de la crête (Beskid, 799 m.), au contact immédiat d'une aire où il y a excès, aire qui, à partir de ce point (encore au Nord de la crête), s'étend sur toute la plaine hongroise (fig. 394). Cette aire positive empiète en outre jusqu'à une assez grande distance sur la partie orientale des Alpes. De même, dans le Tyrol Méridional, il existe déjà près d'Ala, à l'intérieur des montagnes, un fort excédent, qui continue au-delà de Vérone jusque dans la plaine; Mantoue, dans l'avant-pays,

présente un déficit[1] (fig. 395). Dans le Caucase, Stebnitzki n'a pas trouvé non plus de coïncidence entre le déficit et les limites des montagnes. Costanzi pense qu'en général, les valeurs négatives ne coïncident pas avec les axes des chaînes de montagnes, mais sont déviées dans la direction d'une dépression voisine (fig. 396); pour les Alpes

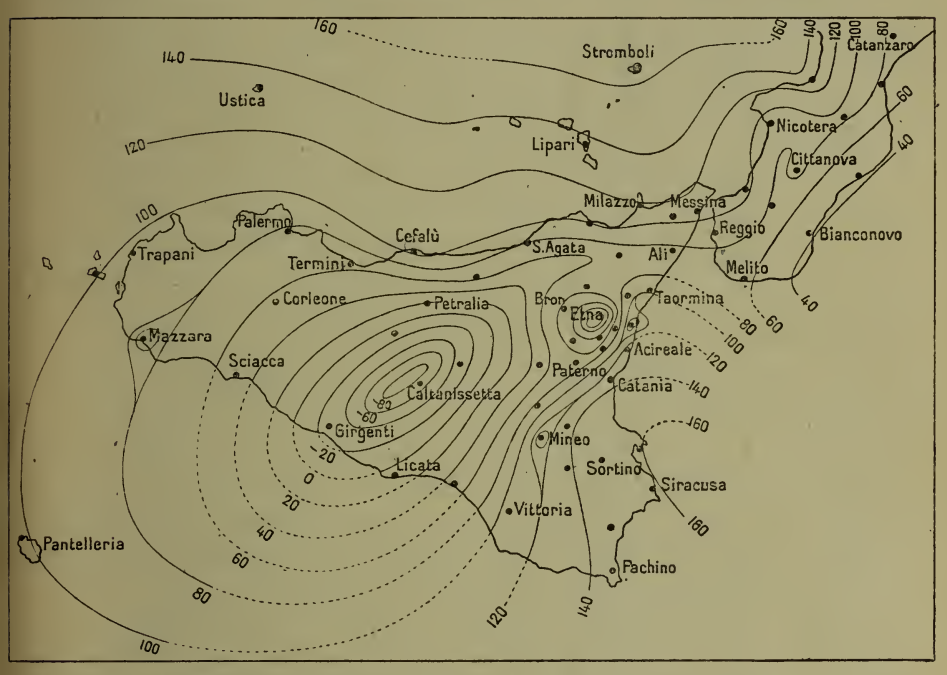


Fig. 398. — Anomalies de la pesanteur en Sicile, d'après A. Riccò (*Boll. Soc. Sismologica Italiana*, XII, 1908, p. 397, fig. 1). — Échelle de 1 : 3 500 000.

(fig. 397) et les Carpathes, il suppose que cette déviation suit les mouvements tectoniques[2].

1. R. von Sterneck, *Die Schwerkraft in den Alpen, und Bestimmung ihres Wertes für Wien* (Mittheil. K. u. K. Militär-Geogr. Instituts, Wien, XI, 1891, p. 123-230, pl. V : cartes et profils); *Relative Schwerebestimmungen ausgeführt im Jahre 1893* (Ibid., XIII, 1893, p. 208-308, pl. XXIII : carte). [Voir aussi les travaux suivants du même auteur : *Relative Schwerebestimmungen, ausgeführt im Jahre 1894, nebst einem Auhange über Barymeter Beobachtungen* (Ibid., XIV, 1894, p. 242-313, Beilagen IX, X : cartes); *Relative Schwerebestimmungen ausgeführt in den Jahren 1895 und 1896* (Ibid., XVII, 1897, p. 100-160, pl. XII : carte et profils); *Relative Schwerebestimmungen in der Umgebung des Plattensees ausgeführt im Jahre 1901* (Ibid., XXI, 1901, p. 77-98, pl. 6 : carte).]

2. G. Costanzi, *Les déplacements des maxima de l'anomalie positive et négative de la pesanteur relativement à la configuration du terrain* (C. R. Acad. Sc., Paris, CXLV, 1907, 2e sem., p. 695-697). [Voir aussi l'important travail du même auteur : *La distribuzione della gravità in Europa, specialmente in relazione coi sollevamenti montuosi. Appendice* (Tavole numeriche e carte). Estr. dalla Rivista di Fisica, Matematica e Scienze Naturali, Pavia, Anno XI, num. 122-129. In-8°, IV-CXXIV p., 3 pl. : cartes. — Sur l'allure des courbes qui définissent les anomalies de la pesanteur dans les Alpes Suisses, voir le rapport de Th. Niethammer,

Les résultats deviennent incompréhensibles pour les montagnes isolées. Au Mauna Kea, dans les Iles Hawaii (3 980 m.), Preston, à l'aide du pendule, trouva la densité extraordinaire de 3,7 au pied, tandis que la moitié supérieure de la montagne donne 2,1; toutefois, la moyenne des deux valeurs, 2,9 doit être voisine de la vérité[1]. L'Etna donne un résultat analogue, d'après les calculs de Riccò (fig. 398). On part du centre de la Sicile avec un déficit; en montant, les valeurs de la gravité augmentent; l'excédent grandit, mais au sommet, à 2 993 mètres, se déclare un déficit. En profil, la courbe de la gravité correspond remarquablement bien au négatif de la courbe du relief (fig. 399)[2].

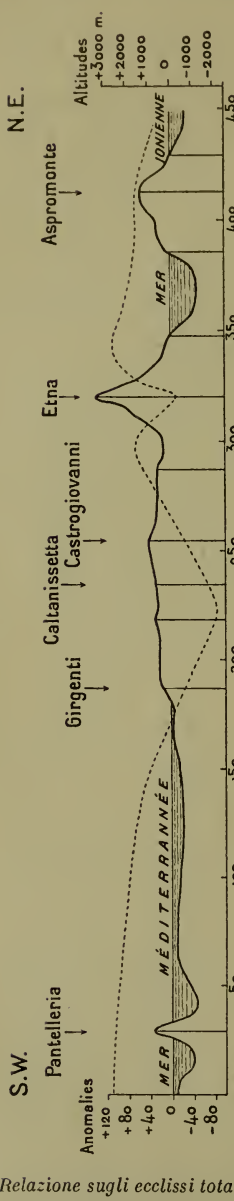


Fig. 399. — Variations inverses du relief et de la gravité en Sicile, d'après A. Riccò (*Boll. Soc. Sismologica Italiana*, XII, 1908, p. 400, fig. 2).

Longueurs 1 : 3 500 000. — Les traits verticaux répondent à l'emplacement des stations où la valeur de la pesanteur a été déterminée.

Ces faits nous apprennent ce qui suit : sur la cime isolée d'un cône, comme l'Etna, il faut tenir compte de la moindre masse du sommet (et non pas de cavités qui existeraient dans la montagne, par exemple). Comme, d'ailleurs, l'action de la gravité diminue avec le carré de la distance, la cause d'une variation rapide, telle qu'il s'en produit dans les Carpathes et dans le Tyrol Méridional, peut difficilement être située à une grande profon-

Schwerebestimmungen der Schweizerischen geodätischen Kommission (Verhandl. Schweizer. Naturfosch. Gesellsch., 91. Jahresversammlg., Glarus, 1908, I, p. 43-62, 1 carte h. t.); le *Procès-verbal de la 60e séance de la Commission Géodésique Suisse*. In-8°, Neuchâtel, 1914, p. 5-17 et 63-69, 1 carte; et l'étude d'Alb. Heim, *Die Schwereabweichungen der Schweiz in ihrem Verhältnis zum geologischen Bau* (Vierteljahrsschr. Naturforsch. Gesellsch. Zürich, LXI, 1915, p. 93-106, fig. 1-3, pl. I).]

1. E. D. Preston, *Gravity Determination at the Sandwich Islands* (Amer. Journ. of Sc., 3d Ser., XLV, 1893, p. 256, 257). Les poids spécifiques, au Kilauea, sont compris, d'après Silvestri, entre 2,72 et 3,03 (*in* Tacchini, *Relazione sugli ecclissi totale di Sole 1882-1887*. 52 p., en particulier p. 50). [— Sur les anomalies de la pesanteur dans les îles et leur interprétation, voir l'étude de O. Zanotti Bianco, *I concetti moderni sulla figura matematica della Terra. Appunti per la storia della Geodesia. Note 3a e 4a. La Gravità nelle isole e l'ipotesi di Pratt* (Atti R. Accad. Sc., Torino, XLI, 1905-1906, p. 21-43 et 288-308).]

2. A. Riccò, *Anomalie della gravità e del magnetismo terrestre in Calabria e Sicilia, in relazione alla costituzione del suolo* (Boll. Soc. Sismol. Italiana, XII, 1908, p. 393-407).

deur. Mais, à la surface, n'entrent en ligne de compte que quatre circonstances : le relief, la tectonique, la densité des roches, et la méthode de réduction des observations. Les trois premières sont connues; quant à la méthode de réduction, le cas du Mauna Kea nous offre un exemple où la moyenne, après élimination, donne un chiffre vraisemblable pour la densité.

La formule de Bouguer (ou de Young), qui est appliquée le plus souvent, en pareil cas, contient deux facteurs : le premier se rapporte à l'altitude du point observé au-dessus de la mer, le second à l'attraction verticale de la masse comprise entre la station et le niveau marin; il faut y ajouter en outre une correction locale pour le relief, quand la surface présente des irrégularités. De plus, dans le second facteur, toutes les masses situées entre la station et le niveau de la mer sont assimilées à un plateau, de hauteur moyenne égale à celle du continent et d'étendue illimitée. Helmert[1] a apporté des modifications à cette formule. Déjà, en 1880 et en 1883, Faye avait proposé de laisser de côté le deuxième facteur de la formule de Bouguer, et, par contre, d'utiliser le premier facteur ainsi que toutes les corrections locales. En faisant cette proposition, Faye s'appuyait sur le fait, mis en évidence par Clarke, que la suppression du deuxième facteur permettait d'éliminer totalement le gros déficit constaté à Moré, le point le plus élevé où l'on ait mesuré la déviation du pendule dans l'Himalaya. En même temps, il faisait remarquer qu'il aurait été impossible de déterminer la densité de la planète avec une approximation suffisante sur certaines montagnes, si celles-ci avaient été réellement moins denses et compensées par des masses sous-marines [2].

Ce n'est pas ici le lieu de poursuivre de telles considérations. On peut citer un important exemple, calculé aussi bien d'après la formule de Bouguer que d'après celle de Faye, à savoir le profil en travers des États-Unis qu'a publié Putnam (fig. 400)[3]. La formule de Bouguer

[1. Travaux récents sur les anomalies de la pesanteur publiés par F. R. Helmert : *Unvollkommenheiten im Gleichgewichtszustande der Erdkruste* (Sitzungsber. k. Preuss. Akad. Wiss. Berlin, 1908, II, p. 1058-1068); *Die Tiefe der Ausgleichsfläche bei der Prattschen Hypothese für das Gleichgewicht der Erdkruste und der Verlauf der Schwerestörung vom Innern der Kontinente und Ozeane nach den Küsten* (Ibid., 1909, II, p. 1192-1198); *Die Erfahrungsgrundlagen der Lehre vom allgemeinen Gleichgewichtszustande der Massen der Erdkruste* (Ibid., 1912, p. 308-332); *Die Schwerkraft und die Massenverteilung der Erde* (Encyclopaedie der Mathematischen Wissenschaften, VI, 1 B, Heft 2. In-8°, Leipzig, 1910, p. 85-177; renferme une bibliographie).]

2. H. Faye, *Sur les variations séculaires de la figure mathématique de la Terre* (C. R. Acad. Sc., XC, 1880, 1er sem., p. 1185-1191); *Sur la réduction des observations du pendule au niveau de la mer* (Ibid., p. 1443-1446); *Sur la réduction du baromètre et du pendule au niveau de la mer* (Ibid., XCVI, 1883, 1er sem., p. 1259-1262); et ailleurs. Le fait que la densité de la Terre se mesure à l'attraction des montagnes est indiqué par Hann comme inconciliable avec la compensation; J. Hann, *Bemerkungen über die Schwerecorrektion bei den barometrischen Höhenmessungen* (Petermanns Mittheil., XLIX, 1903, p. 163-166).

3. G. R. Putnam, *Results of a Transcontinental Series of Gravity Measurements* (Bull. Phil.

(exception faite pour Washington, dont nous parlerons plus tard) donne constamment des valeurs négatives, de Boston à San Francisco. Celles-ci augmentent progressivement à mesure que l'on s'éloigne vers l'Ouest, surtout au-dessus de 1 000 mètres, et atteignent une grande importance au-dessus de 2 000 mètres. Le maximum de ces valeurs négatives se trouve à Gunnison, dans le Colorado (2 340 m.), au voisinage de la masse principale des Montagnes Rocheuses; en Californie, elles décroissent. Cette formule fournit, par conséquent, un déficit sur toute la ligne, déficit très important sous les hautes montagnes, et elle est en contradiction complète avec le relief. Par contre, si le calcul n'est conduit qu'avec le premier terme de la formule de Bouguer, il donne également un déficit dans l'Est et sous les plaines, mais ce déficit est bien plus réduit que celui qu'on obtient dans le premier calcul; une faible valeur positive apparaît même dans les Appalaches, et le déficit n'augmente pas en allant vers les montagnes. Puis, en pleine montagne, toutes les stations situées entre 1 800 et 2 000 mètres (avec la seule exception de Gunnison) présentent non plus un déficit, mais un excédent, avec un maximum important sous le Pikes Peak (4 293 m., Montagnes Rocheuses), point culminant de la ligne. L'introduction des corrections locales atténue encore davantage les inégalités, fait passer une partie des valeurs positives des hautes montagnes vers les contreforts orientaux, diminue le maximum exagéré

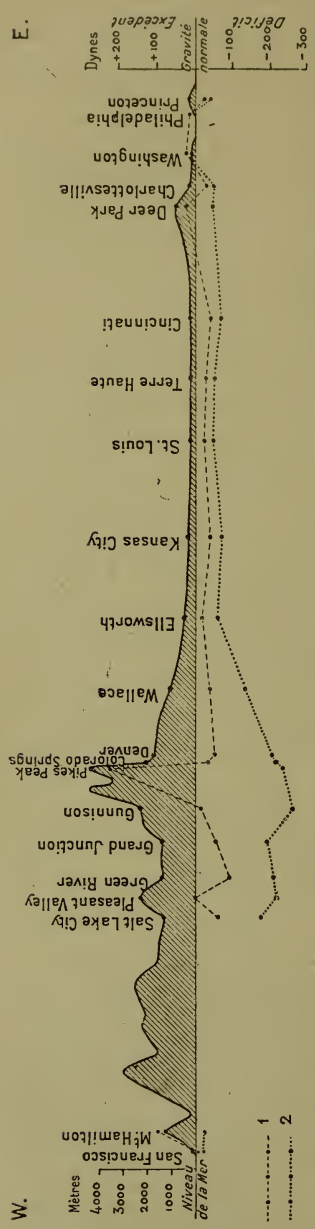


Fig. 400. — Profil en travers des États-Unis aux environs du 39e parallèle, d'après G. R. Putnam (*Bull. Philosophical Society of Washington*, XIII, 1895, pl. 5, p. 31). — Longueurs 1 : 30 000 000; hauteurs 1 : 300 000.

1. Valeurs de la gravité calculées en ne tenant compte que de l'altitude; 2. Dº obtenues en employant la formule de Bouguer.

Soc. Washington, XIII, 1895, p. 31-60); et G. K. Gilbert, *Notes on the Gravity Determinations reported by Mr. G. R. Putnam* (Ibid., p. 61-75, fig. 1-3, pl. 5).

du Pikes Peak, rend la valeur de Gunnison également positive, etc.

Ainsi, tandis que la formule de Bouguer exige un important déficit sous les grands massifs montagnenx, la formule de Faye cadre bien avec la configuration générale de la surface. Dans ces conditions, les différences entre la gravité théorique et celle que l'on obtient au moyen du pendule sont tellement réduites que Putnam n'attribue plus aucune importance au résidu qui subsiste. Aussi Gilbert a-t-il pu en conclure que la lithosphère possède une plus grande résistance dans le sens vertical que les partisans de l'isostasie ne l'admettent. *Les Appalaches, les Montagnes Rocheuses et le plateau de Wasatch seraient des charges surajoutées, qui sont supportées grâce à la rigidié de la Terre.* Les travaux des géodésiens et ceux des géologues se trouveraient ici en parfaite conformité.

Mais alors se pose une nouvelle question : comment ce résultat peut-il se concilier avec celui des opérations conduites au centre du Tyrol, opérations où à tant de précision sur le terrain s'est trouvée associée une si grande rigueur dans les calculs? D'après les tables de Helmert, $g - \gamma$ (différence entre la gravité mesurée et gravité calculée) a sans doute une valeur négative dans les 37 stations de l'anneau, mais aussi bien vers les hauteurs du Brenner que vers les sources de l'Adige (Reschen-Mals), cette différence décroît. La plus grande altitude de l'anneau atteint 1 483 mètres, sa hauteur moyenne 790 mètres. Il est bordé de tous les côtés par des montagnes beaucoup plus élevées, et la hauteur moyenne du massif montagneux entouré (Oetzthal et Stubai) est supérieure à 2 000 mètres. De nombreux sommets dépassent 3 000 mètres, beaucoup 3 500 mètres. Si, en sortant de l'anneau, l'on pénètre dans ces hautes montagnes en venant du Sud, on rencontre encore à 1 636 mètres (Pfelders) une valeur négative, beaucoup moins importante, il est vrai, que dans l'anneau, et à 2 967 mètres (Sandbüchel) elle devient positive, ce qui n'arrive nulle part sur le parcours même de l'anneau. Il en est de même lorsqu'on sort de l'anneau vers le Sud-Ouest pour atteindre Franzenshöhe (2 188 m.) et gravir le Stilfser Joch ou Stelvio (2 760 m.); ces deux points sont positifs. On doit donc supposer que les conditions qui règnent dans le Tyrol sont analogues à celles que nous avons vues réalisées dans les Montagnes Rocheuses, et que le déficit présumé au-dessous des Alpes n'est dû qu'à la faible altitude de l'anneau. Ce beau travail a donc besoin d'être complété par des mesures pendulaires prises sur les sommets.

Considérons maintenant les récents travaux faits dans l'*Inde*.

Burrard divise l'Inde en quatre régions : I° l'Himalaya; II° la vaste dépression au fond de laquelle coule le Gange, et dont la limite méridionale conserve un parallélisme remarquable avec le pied des mon-

tagnes; III° la presqu'île; et IV° le Nord-Ouest de l'Inde, situé de l'autre côté du rebroussement (*Schaarung*). Là, les opérations sont moins avancées et IV reste pour le moment hors de considération (fig. 401)[1].

La presqu'île (III) présente des roches lourdes ayant une grande extension. Les plus anciennes sont les batholithes de charnockite; puis viennent les roches basiques qui, près de Rajmahal par exemple, à

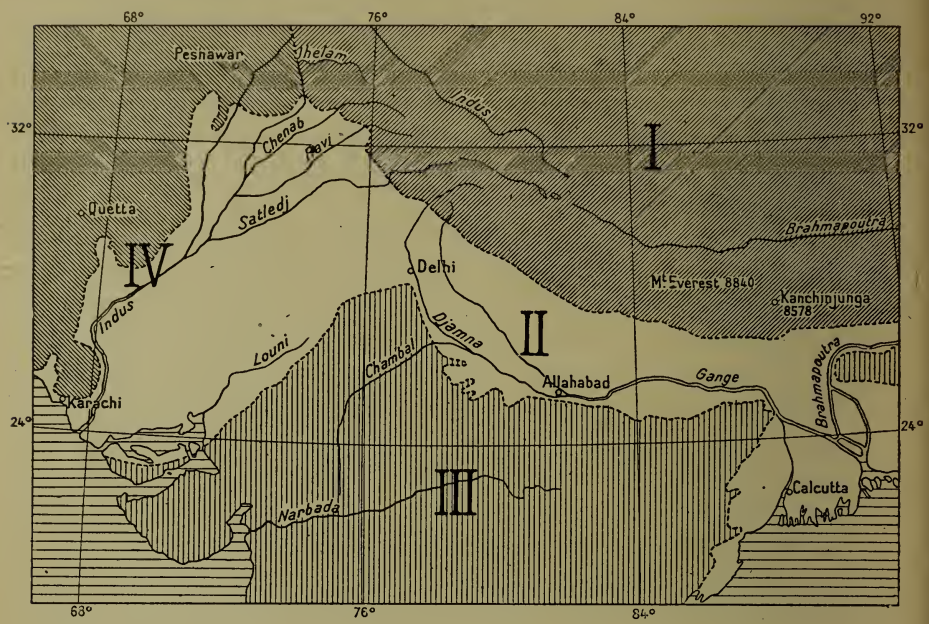


Fig. 401. — Parallélisme entre la limite des plateaux de l'Inde et le bord des grandes chaînes asiatiques, d'après S. G. Burrard et H. H. Hayden (*A Sketch of the Geography and Geology of the Himalaya Mountains and Tibet*, part II. In-4°, Calcutta, 1907, Chart IX).

I. Himalaya; II. Avant-fosse méridionale; III. Inde péninsulaire; IV. Région du Nord-Ouest. — Échelle de 1 : 22 000 000 environ.

la limite de III et de II, atteignent une puissance de 2 000 pieds [600 m.] et qui appartiennent probablement à l'époque du Gondwana supérieur, et enfin, dans l'Ouest, les trapps du Dekkan, qui recouvrent des surfaces

1. Lieut.-Col. S. G. Burrard, *On the Intensity and Direction of Force of Gravity in India* (Phil. Trans., Royal Soc. London, Ser. A, vol. 205, 1905, p. 289-318, pl. 14-20 : cartes et profils); S. G. Burrard and H. H. Hayden, *A Sketch of the Geography and Geology of the Himalaya Mountains and Tibet*. In-4°, Calcutta, part 2, 1907, p. 51-56, Chart IX. [Voir aussi les *Professional Papers* suivants, publiés par le *Survey of India* : Major G. P. Lenox Conyngham, *The Pendulum Operations in India, 1903 to 1907*. In-4°, x-196 p., 1 carte, Dehra Dun, 1908 (No. 10); — Colonel S. G. Burrard, *On the Origin of the Himalaya Mountains. A Consideration of the Geodetic Evidence*. In-4°, 26 p., 2 pl., cartes, Calcutta, 1912 (No. 12); — Major H. L. Crosthwait, *Investigation of the Theory of Isostasy in India*. In-4°, 14 p., 1 pl. carte, Dehra Dun, 1912 (No. 13); — Exposé d'ensemble par S. G. Burrard, *On the Origin of the Himalaya Mountains* (Geol. Mag., Dec. 5, X, 1913, p. 385-388).]

très étendues. En faisant entrer en ligne de compte quelques intercalations sédimentaires, leur épaisseur atteint, près de Bombay, 6 000 pieds [1 800 m.]. Ils forment de larges montagnes tabulaires, dont l'altitude dépasse 4 000 pieds [1 200 m.] dans les Sahyadri.

Au Nord de Delhi, les chaînons des Monts Arvali, dirigés N.E., se perdent sous les plaines de II. A ce groupe appartient une bande de quartzite et d'itacolumite, sur laquelle se trouve la localité déjà mentionnée de Kaliana (27° 4′ de latitude N., non loin de Muzaffarnagar), station d'observation d'Everest et point de départ de la théorie de la compensation de Pratt. Beaucoup plus loin encore, vers le

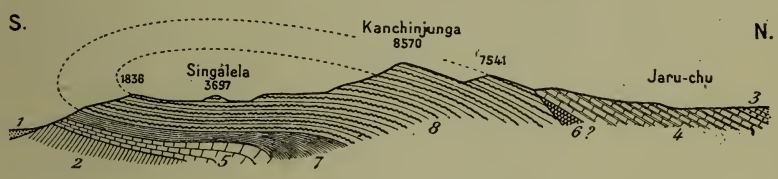


Fig. 402. — Coupe passant par le Kanchinjunga (Himalaya du Sikkim), d'après L. de Lóczy (*Földrajzi Közlemények*, XXXV, 1907, fig. 4).

1. Alluvions et dépôts pléistocènes; 2. Couches des Siwaliks; 3. Tertiaire et Crétacé du Tibet; 4. Terrain jurassique; 5. Couches de Gondwana au pied de l'Himalaya; 6. Trias du Tibet; 7. Schistes paléozoïques; 8. Gneiss et granite. — Échelle de 1 : 2 000 000 (hauteurs doublées).

Nord-Ouest, un reste des quartzites de l'Arvali fait saillie au-dessus de II, dans les Monts Korana, sur le Chenab, à environ 60 ou 70 kilomètres de la Chaîne du Sel[1].

Les hautes montagnes I sont délimitées du côté de II par la lisière des chaînons tertiaires de Siwalik, formés de grès et de conglomérats, ces derniers rappelant tout à fait les alluvions actuelles de II. Les gneiss qui apparaissent dans le Sikkim et plus loin encore vers l'Est, au Nord de cette zone, en bordure de l'Himalaya, sont renversés vers le Sud; les couches de Gondwana s'enfoncent par-dessous (fig. 402). Ils doivent donc correspondre aux gneiss de I (péninsule), à peu près comme la zone du Mont-Blanc correspond à l'avant-pays Varisque.

Un premier fait très remarquable que signale Burrard, c'est qu'en général, dans l'Inde, on voit la gravité se distribuer par zones parfaitement délimitées. *La zone II correspond évidemment à l'avant-fosse de l'Himalaya*, et, d'après les constatations faites ailleurs, on ne peut guère

1. I, p. 584; H. B. Medlicott and W. T. Blanford, *A Manual of the Geology of India*. In-8°, Calcutta, 1879, I, p. 52; pour Kaliana, voir R. D. Oldham, *On Flexible Sandstone or Itacolumite; with special reference to its nature and mode of occurrence in India* (Records Geol. Survey of India, XXII, 1889, p. 51-56, 2 pl.). [Voir aussi A. M. Heron, *The Kirana and other Hills in the Jech and Rechna Doabs* (Records Geol. Survey of India, XLIII, 1913, p. 229-236, pl. 21, 22 : cartes géol.).]

élever d'objection sérieuse contre l'idée qu'il existe là, en avant de l'Himalaya, une dépression de 6 à 7 kilomètres de profondeur ou davantage, qui serait comblée par des sédiments dont la densité est bien inférieure à 2,8[1]. En effet, les mesures pendulaires ont été calculées d'après la formule de Bouguer, dans l'hypothèse d'une densité moyenne des roches égale à 2,8, valeur trop élevée par elle-même; les résultats sont, par conséquent, difficilement comparables à d'autres.

Les conclusions de Burrard et de Lenox Conyngham sont résumées dans les lignes suivantes :

Au-dessus de la péninsule, les déviations de la verticale sont variables et peu importantes; les variations de la gravité, déterminées à l'aide du pendule, le sont davantage. Vers sa limite septentrionale, à 120 ou 200 kilomètres au Sud du pied de l'Himalaya, un excédent de masse se manifeste peu à peu, de telle façon que Kisnapur, par exemple, devrait passer de 35 mètres au-dessus de la mer à 339 mètres pour satisfaire aux exigences du pendule; en d'autres termes, le pendule met en évidence un excédent de 304 mètres d'altitude, avec la densité 2,8. C'est pourquoi Burrard dit qu'en face de l'Himalaya visible, il doit se trouver une seconde *chaîne parallèle invisible*. A partir de cette bordure ou de cette chaîne de montagnes invisible, avec sa forte gravité probable, la gravité va en diminuant progressivement dans II (dans l'avant-fosse), mais la verticale reste déviée vers le Sud, c'est-à-dire que l'attraction de la péninsule reste plus grande que celle de l'Himalaya. Puis les attractions Sud de la péninsule et les attractions Nord de l'Himalaya se superposent et se compensent en partie. C'est ainsi que s'explique la déviation exceptionnellement faible de la verticale à Kaliana, sur laquelle repose la théorie de la compensation de Pratt. Au lieu de l'attraction théorique de l'Himalaya, elle ne donne que 5 ou 6″ N., tandis qu'à 88 kilomètres plus au Nord, à Dehra Dun (zone des Siwaliks), elle est déjà de 37″ N. Cependant, le pendule montre en cet endroit encore une infériorité notable pour la gravité. Partout, d'ailleurs, dans la partie septentrionale de la fosse, on constate un déficit important. Pathankol, dans les avant-monts, devrait, d'après les indications du pendule, changer son niveau d'une altitude de 331 mètres à une cote négative de — 1 208 mètres. La déviation de la verticale vers le Nord est remarquablement prononcée (Kurseong 50″, Tonglu 42″, etc., toutes stations appartenant à la zone extérieure de l'Himalaya). C'est là que se trouve le maximum des déviations vers le Nord; on en signale encore, il est vrai, jusqu'à 80 kilomètres au Nord des avant-monts, mais leur amplitude va en décroissant par rapport à ce qu'elle

[1. Voir R. D. Oldham, *On the Effect of the Gangetic Alluvium on the Plumb-line in Northern India* (Proc. Royal Soc., London, Ser. A, XC, 1914, p. 32-41).]

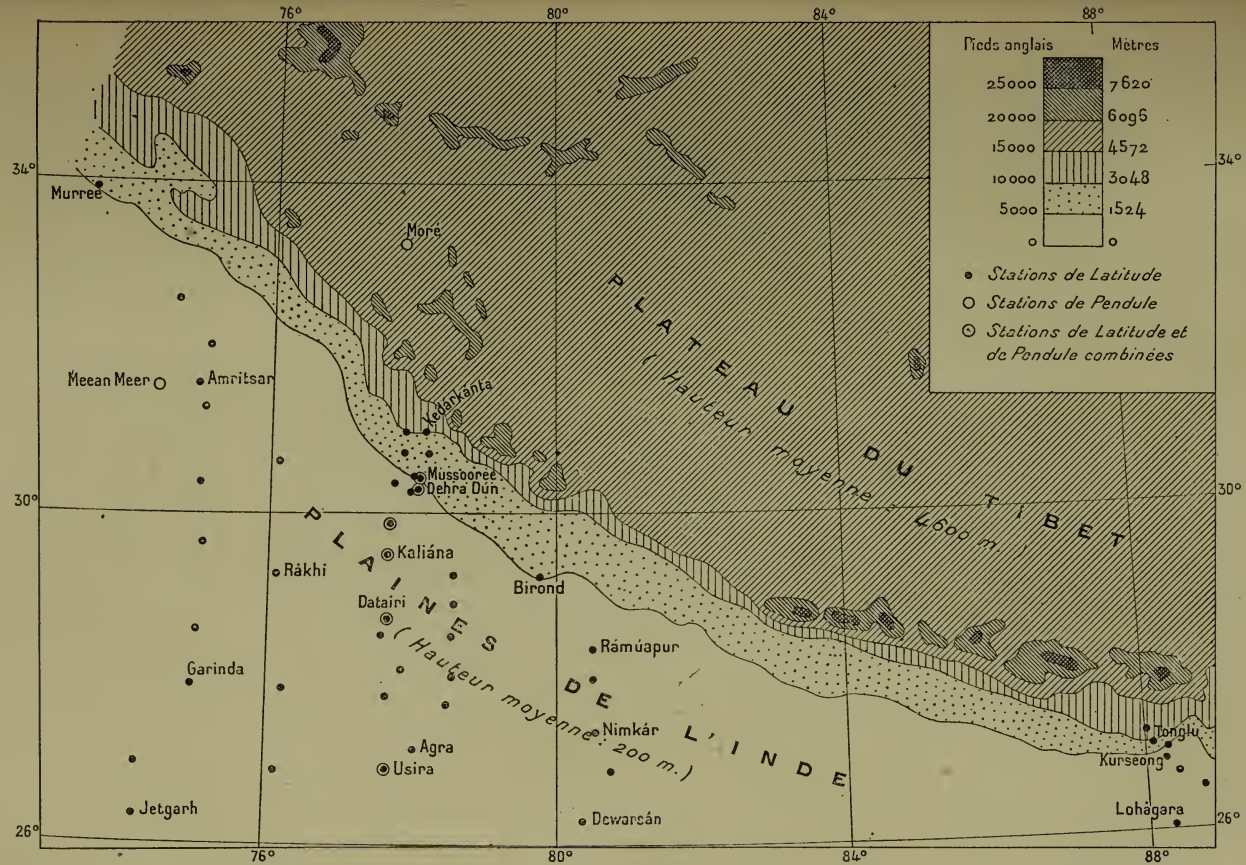


Fig. 403. — Stations géodésiques du Nord de l'Inde, d'après S. G. Burrard (*Phil. Transactions, Royal Society of London*, Ser. A, vol. 205, 1905, pl. 16). — Échelle de 1 : 10 000 000.

était sur le bord de la chaîne (point le plus éloigné : Kidarkanta, 3 813 mètres, déviation 27″ N,). Burrard explique le fait que les déviations de la verticale atteignent leur maximum sur la bordure de l'Himalaya de la façon suivante : en pénétrant dans les montagnes, la région traversée exercerait une influence compensatrice sur le fil à plomb.

Les mesures faites dans les hautes montagnes avec le pendule de Sterneck sont encore peu nombreuses (fig. 403); elles ont, en général, diminué notablement les valeurs négatives de Basevi, sans les supprimer. On n'a pas atteint Moré; l'altitude de cette station (4 696 m.) donnerait, d'après les anciennes mesures et la formule de Bouguer, un déficit de 4 484 mètres. Nous avons déjà noté que Clarke, en simplifiant la formule de Bouguer, a éliminé ce déficit. Le fait que le fil à plomb est également dévié vers le Nord au delà de Moré a, en outre, conduit Burrard à mettre en doute l'exactitude des indications du pendule pour Moré et pour la station suivante de Mussooree (2 109 m., déficit 1 333 m.). Nous ne possédons pas jusqu'à présent d'autres mesures pendulaires relatives à cette haute chaîne.

Burrard pense aussi que la déviation générale du fil à plomb vers le Sud, dans la zone II (avant-fosse), est plutôt occasionnée par un déficit de masse au-dessous de cette plaine que sous les montagnes. De fait, toutes les données obtenues à l'aide du fil à plomb s'expliquent par l'hypothèse que l'avant-fosse est comblée par des sédiments d'une densité moindre, sous lesquels les terrains anciens de l'avant-pays s'abaissent du Sud vers le Nord, jusqu'à ce qu'ils arrivent sous le front abrupt de l'Himalaya. C'est à la même conjecture qu'a conduit la rencontre du granite de Bohême par un forage près de Wels, en face du bord des Alpes. Il se pourrait qu'un jour, des calculs relatifs à la configuration souterraine de l'avant-fosse devinssent possibles, calculs du genre de ceux qu'Eötvös a entrepris d'après les données fournies par sa balance de torsion, sur une petite échelle, près d'Arad (fig. 404)[1].

1. Baron Roland Eötvös, *Bericht über die geodätischen Arbeiten in Ungarn. Bestimmung der Gradienten der Schwerkraft und ihrer Niveauflächen mit Hülfe der Drehwage* (C. R. des séances, XVe Conférence générale de l'Assoc. Géodésique Internat., réunie à Budapest du 20 au 28 septembre 1906, I. In-4°, I, 1908, p. 337-395; en particulier p. 388-392, et fig. 8, p. 366). [Voir aussi R. Eötvös, *Bericht über geodätischen Arbeiten in Ungarn, besonders über Beobachtungen mit der Drehwage* (C. R. XVIe Conf. gén. Assoc. Géod. Internat., réunie à Londres et à Cambridge du 21 au 29 septembre 1909, vol. I, Annexe A XIX, p. 319-350, 10 fig.); K. Oltay, *Anhang. Vorläufiger Bericht über die im Auftrage der Herrn Baron R. Eötvös ausgeführten Lotabweichungsbestimmungen und Schweremessungen* (Ibid., p. 351-353); O. Hecker, *Bericht über dei Eötvössche Drehwage des Kgl. Geodätischen Instituts in Potsdam* (Ibid., vol. II, Annexe B XV, p. 310-318, 9 fig.); — R. Eötvös, *Bericht über Arbeiten mit der Drehwage ausgeführt im Auftrage der Kön. Ungarischen Regierung in den Jahren 1909-1911* (C. R. XVIIe Conf. gén. Assoc. Géod. Internat., réunie à Hambourg du 17 au 27 septembre 1912, vol. I, Beilage A XL, p. 427-438, 1 pl. carte).]

A Lucknow, un sondage conduit jusqu'à environ 300 mètres au-dessous du niveau de la mer n'a pas atteint la base des sédiments récents. Peut-être même se demandera-t-on quelque jour si l'énigmatique « Swatch of no ground », ce trou profond de 400 à 600 mètres qui

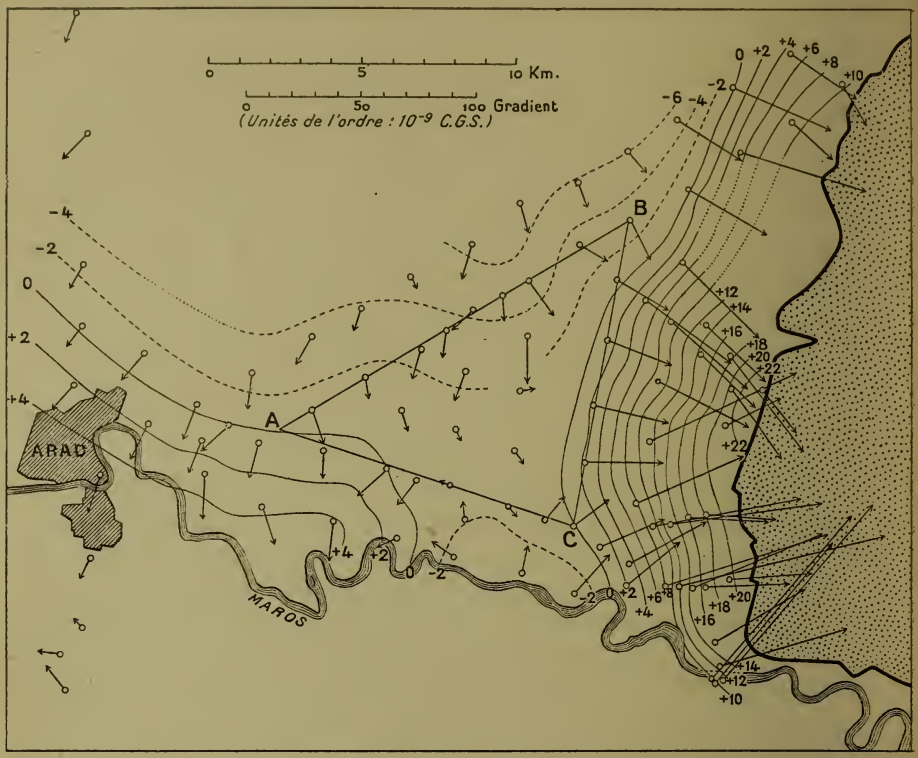


Fig. 404. — Valeurs souterraines du gradient de la pesanteur aux environs d'Arad (Hongrie), d'après les déterminations faites à la balance de torsion par R. Eötvös (*C. R. des séances de la XVe Conférence générale de l'Association Géodésique Internationale* tenue à Budapest du 20 au 28 septembre 1906, p. 366, fig. 8).

Échelle de 1 : 250 000. — Écartement vertical des isogammes = 2-10^{-9}. Le trait fort, sinueux, à droite de la figure, représente le pied d'un massif montagneux.

interrompt le delta du Gange, ne serait pas une dernière trace de cette avant-fosse, déjà déviée dans le sens de l'Arc Birman.

Ainsi, tandis que, dans l'Himalaya, les déviations du fil à plomb peuvent être mises en accord relatif avec la structure de la chaîne, des doutes planent sur la signification des mesures pendulaires. S'il est malaisé pour le géologue de concevoir un déficit en haute montagne, il lui est pour le moins aussi difficile d'imaginer un excédent en plaine et d'admettre qu'il y existe une chaîne invisible[1]. Nous devons

1. Des doutes d'une autre nature sur l'existence d'une telle chaîne sont exprimés par O. Fisher, *On Deflexions of the Plumb-line in India* (Phil. Mag., 6th Ser., VII, 1904, p. 14-25); pour l'opinion contraire, voir Burrard, ibid., p. 292-294.

nous attendre à ce que le moyen par lequel Clarke a fait la lumière pour Moré, conduise aussi à la solution des autres difficultés.

On ne peut considérer comme démontrée, dans l'état actuel de nos connaissances et devant ces contradictions, l'existence d'un déficit de masse sous les chaînes de montagnes. Elle contredirait d'ailleurs tous les résultats de la Géologie.

Compensation des Continents. — A côté de la question de la compensation des montagnes se placent encore deux autres questions : d'abord celle de savoir si, comme le croit Pratt, — et c'est la question de beaucoup la plus importante, — les continents sont tenus en équilibre par des masses plus denses existant sous les mers, et en outre si, comme le veut Dutton, l'affaissement des mers a produit la surrection des continents.

Il suffira de citer ici trois exemples, l'un s'appuyant sur les hypothèses d'un géologue éminent, un deuxième partant des déviations de la verticale, enfin un troisième fondé sur les observations pendulaires.

Bailey Willis, qui connaît si bien les Appalaches, a parcouru l'Asie Orientale et a cherché à appliquer au continent asiatique la doctrine de l'isostasie. Cette doctrine, au cours de sa tentative, a d'ailleurs pris une forme nouvelle. Willis admet comme acquis que, sous les océans, les roches sont plus denses que sous les continents. Ces deux espèces de roches se touchent. La poussée persistante de la partie la plus dense triomphe de la rigidité. Une zone d'écoulement facile s'établit de la plus dense vers la moins dense, par conséquent de la mer vers le continent. On pourrait admettre, par exemple, que cette action est nulle à la surface, augmente vers la profondeur et redevient nulle à 100 milles (160 kilom.), un substratum rigide venant ensuite. L'Asie aurait été formée grâce à une poussée venue de l'Océan Indien et de l'Océan Pacifique et dirigée vers le faîte du Baïkal. Une expansion sous-marine continue (*oceanic spread*), mais se manifestant par à-coups (rhapsodique), aurait comprimé les roches plus légères, et l'Asie se serait ainsi constituée non par chevauchement superficiel, mais par refoulement profond (*Unterschiebung*).

Cette hypothèse — c'est ainsi qu'elle est désignée par l'ingénieux auteur lui-même — a l'avantage de ne pas supposer de cavités sous les montagnes. On pourrait essayer de l'appliquer aux plissements extérieurs en bordure, renversés, quoique là, déjà, la forme convexe des arcs soit une objection. Mais on perçoit difficilement comment les autres traits principaux de structure, le charriage vers le Sud des lambeaux de recouvrement du Tibet, les enchaînements, la virgation du Tien-Chan, l'avancée des Iles Bonin vers le milieu de l'Océan,

sont conciliables avec un refoulement par en-dessous, allant jusqu'au Baïkal [1].

Les très nombreuses mesures que Tittmann et Hayford ont exécutées sur toute la largeur des États-Unis et à travers plus de 31 degrés de latitude ont pour base l'étude du fil à plomb [2]. L'essai de représentation par courbes équipotentielles, établi d'après ces déterminations du géoïde, montre le long du rivage atlantique, du 45e au 37e degré de lat. N., une déclivité parallèle ; les Adirondacks et les Alleghanies s'y reconnaissent assez bien ; le point le plus déprimé se trouve dans la partie orientale du Lac Supérieur, où le fond de cette cuvette atteint 100 mètres au-dessous du niveau de la mer. Sauf une exception énigmatique dans le Sud, où se révèle, à travers l'Alabama, un relèvement de la surface du géoïde dans la direction de Mobile, on constate donc que cette surface dépend de la forme de la surface terrestre et est, pour ainsi dire, l'image généralisée et atténuée du relief continental [3].

Autant ce résultat est instructif et précieux, autant il est difficile de suivre les savants américains au-delà de ces données. On a conclu de ce qui précède qu'il fallait considérer, autour de chaque station, une aire du plus grand rayon possible. On est arrivé ainsi à des rayons allant jusqu'à 4 126 kilomètres, de telle façon que pour une station située dans l'extrême Est, il faudrait encore tenir compte du rivage pacifique, et réciproquement. Il va de soi qu'on a dû employer en proportion de

1. Bailey Willis, *Research in China*. II, *Systematic Geology*. In-4°, Washington, Carnegie Institution, 1907, p. 115-133; les mêmes idées sont exposées dans son mémoire : *A Theory of Conlinental Structure applied to North America* (Bull. Geol. Soc. of America, XVIII, 1907, p. 389-412).

[2. Sur les progrès récents de l'étude des déviations de la verticale, voir les rapports de A. Börsch : *Bericht über Lotabweichungen, 1906* (C. R. XVe Conf. gén. Assoc. Géod. Internat., réunie à Budapest du 20 au 28 septembre 1906, vol. II, Beilage BX, p. 133-160); *Bericht über Lotabweichungen, 1909* (C. R. XVIe Conf. gén. Assoc. Géod. Internat, réunie à Londres et à Cambridge du 21 au 29 septembre 1909, vol. II, Annexe BXI, p. 255-284).]

3. O. H. Tittmann, *The Form of the Geoid in the United States* (C. R. XIVe Conf. gén. Assoc. Géod. Internat. réunie à Copenhague du 4 au 13 août 1903, vol. I, p. 208-212, 1 carte h. t.); O. H. Tittmann, John F. Hayford, *United States. Geodetic Operations in the Years 1903-1906* (C. R. XVe Conf. ... réunie à Budapest du 20 au 28 septembre 1906, vol. I, p. 192-235, 1 carte h. t.). [Voir aussi John F. Hayford, *The Figure of the Earth and Isostasy from Measurements in the United States*. In-4°, 178 p., 17 fig. ou pl., dont 6 dans une pochette, Washington, 1909 (Department of Commerce and Labor, Coast and Geodetic Survey); et *Supplementary Investigation in 1909 of the Figure of the Earth and Isostasy*. In-4°, 80 p., 6 pl. dont 5 cartes dans une pochette. Ibid., 1910 (Id.); — John F. Hayford and W. Bowie, *The Effect of Topography and Isostatic Compensation upon the Intensity of Gravity*. In-4°, 132 p., 19 fig. ou pl. dont 5 dans une pochette. Ibid., 1912 (Id., Special Publication N° 10); W. Bowie, *Effet of Topography and Isostatic Compensation upon the Intensity of Gravity* (*Second Paper*). In-4°, 28 p., 5 pl. dans une pochette. Ibid., 1912 (Id., Special Publication N° 12); — G. K. Gilbert, *Interpretation of Anomalies of Gravity* (U. S. Geol. Survey, Professional Paper 85-C, 1913, p. 29-37, pl. IV : « Map of the United States showing Lines of Equal Anomaly of Gravity. »).]

plus en plus élevée des évaluations moyennes, tout particulièrement pour la mer[1].

En dépit des difficultés que cette méthode entraîne avec elle, les auteurs n'en ont pas moins cru pouvoir annoncer d'une manière formelle que les États-Unis se maintiennent à leur hauteur au-dessus de la mer non par suite de la rigidité de la Terre, mais qu'ils flottent (*buoyed up*, *floated*) en vertu de leur faible densité. Si la compensation isostatique est uniforme, elle devra être réalisée à moins de 114 kilomètres, certainement, en tout cas, entre 80 et 160 kilomètres.

Ces conclusions ont conduit Chamberlin à la remarque suivante : la compensation pourrait se faire même dans un corps ayant la rigidité du granite ou de l'acier. Une base visqueuse ne serait pas nécessaire. Une telle base provoquerait d'ailleurs un mouvement pour ainsi dire perpétuel, et serait incapable d'intégrer toutes les tensions latérales puis, après intégration, de les amener à résolution, comme le font supposer pourtant les mouvements tectoniques. La rigidité et la compensation isostatique ne devraient pas, d'après cela, être considérées comme l'antithèse absolue l'une de l'autre[2].

Passons maintenant aux connaissances acquises au moyen du *pendule*[3].

Dans le voisinage des côtes, on obtient presque partout des résultats positifs. Nous avons déjà mentionné un résultat positif isolé à Washington. Les nombreuses mesures pendulaires que la marine de guerre d'Autriche-Hongrie a exécutées sur des côtes et des îles lointaines, le grand nombre d'observations de la marine de guerre allemande, échelonnées depuis le Cameroun jusqu'au Cap, et beaucoup

1. La profondeur moyenne en brasses a été multipliée par 3,69 (1,03 pour l'eau + 2,66 pour la densité moyenne des roches) et le résultat exprimé comme une altitude négative en pieds. Cette façon de procéder a été appliquée jusqu'à des profondeurs de près de 3 000 brasses.

2. T. C. Chamberlin, *Reviews. Geodetic Operations in the United States 1903-1906* (Journal of Geol., XV, 1907, p. 73-79); J. F. Hayford, *Comment on the above Review* (Ibid., p. 79-81). Hayford se rallie sur les points essentiels à l'interprétation de Chamberlin.

[3. Consulter les rapports présentés à l'Association Géodésique Internationale par E. Borrass, notamment : *Bericht über die relativen Messungen der Schwerkraft mit Pendelapparaten für den Zeitraum von 1902 bis 1906* (C. U. XVe Conf. gén. Assoc. Géod. Int. réunie à Budapest du 20 au 28 septembre 1906, vol. II, Beilage XI, p. 162-241), et surtout son précieux Répertoire, intitulé : *Bericht über die relativen Messungen der Schwerkraft mit Pendel-apparaten in der Zeit von 1808 bis 1909 und über ihre Darstellung im Potsdamer Schweresystem.* In-4°, VII-288 p., 2 cartes, Berlin, 1911 (forme le IIIe vol. du C. R. des Séances, XVIe Conf. gén. Assoc. Géod. Int. réunie à Londres et à Cambridge du 21 au 29 septembre 1909). Pour la suite, voir le résumé du même auteur : *Rapport sur les déterminations relatives à la Pesanteur pendant la période 1909-1912* (C. R. XVIIe Conf. gén. ... réunie à Hambourg du 17 au 27 septembre 1912, vol. I, p. 49-52). L'Association Géodésique Internationale disposait, en 1912, de 3 120 déterminations de l'intensité de la pesanteur, obtenues dans 2 780 différentes stations, environ, et réparties très inégalement sur la surface terrestre (voir la carte d'Europe et la mappemonde jointes au Rapport de 1909).]

d'autres travaux ont confirmé ce fait. Helmert[1] a exprimé l'excédent des stations côtières sur les stations intérieures par le chiffre + 0,036.

Déjà la diversité des côtes prises en considération ne laisse aucun doute sur le fait que cet excédent ne peut être motivé par la nature des roches, et il importait de rendre possibles des mesures de gravité en pleine mer. O. Hecker a brillamment résolu ce difficile problème par la comparaison du thermomètre à ébullition et du baromètre à mercure. Le résultat en a été formulé ainsi : on peut considérer comme démontré que la moindre densité de l'eau de l'océan est compensée par la plus grande densité du fond des mers. Inversement, les masses continentales faisant saillie au-dessus du niveau de la mer ne représenteraient pas réellement des accumulations de masses dans la croûte terrestre, mais l'excédent de masse apparent serait compensé par un déficit de masse au-dessous des continents[2].

Une discussion plus approfondie de ces résultats conduit tout d'abord, d'après cela, à écarter les mesures prises dans les régions voisines du rivage; nous laisserons donc de côté toutes les mesures supérieures à — 200 mètres. Alors apparaît au géologue, autant qu'il est permis de tirer des conclusions de l'examen de lignes isolées, le tableau suivant :

Sauf une légère exception dans le Sud-Est de l'Australie, des valeurs positives se présentent pour tout le domaine de la Mer Rouge, de l'Océan Indien et jusque par delà le Nord de la Nouvelle-Zélande pour le plateau des Iles Tonga, sur lequel, à — 2 700 mètres, on a trouvé une valeur positive assez forte tandis que l'avant-fosse des Tonga, jusqu'à la profondeur de 8 500 mètres, a donné des chiffres négatifs importants. Ce domaine Suez-Tonga sépare deux régions

1. *Relative Schwerebestimmungen durch Pendelbeobachtungen, ausgeführt durch die K. u. K. Kriegs-Marine in den Jahren 1892-1894*; herausgegeben vom K. u. K. Reichs-Kriegs-Ministerium, Marine-Section. In-8°, 630 p., 5 pl. dont 3 cartes, Wien, 1895; M. Loesch, *Bestimmung der Intensität der Schwerkraft auf Zwanzig Stationen an der Westafrikanischen Küste von Rio del Rey (Kamerun-Gebiet) bis Kapstadt*. In-4°, VI-50 p., 2 pl. dont 1 carte, Reichs-Marine-Amt, Berlin, 1902. Pour le côté théorique de la question, voir O. E. Schiötz, *Ueber die Schwerkraft auf dem Meere längs dem Abfall der Kontinente gegen die Tiefe* (Skrift. Vidensk.-Selskab. i Christiania, 1907, Math.-naturvid. Kl., n° 6, 1908, 28 p.).

2. O. Hecker, *Bestimmung der Schwerkraft auf dem Atlantischen Ozean sowie in Rio de Janeiro, Lissabon und Madrid* (Veröffentlichung d. K. Preuss. Geodät. Institues, Neue Folge, n° 11, Berlin, 1903. In-4°, VIII-137 p., 9 pl., carte); *Bestimmung der Schwerkraft auf dem Indischen und Grossen Ozean und an deren Küsten, sowie Erdmagnetische Messungen* (Ibid., Neue Folge, n° 12, 1908, VIII-233 p., 12 pl. dont cartes; en particulier p. 113) [et : *Bestimmung der Schwerkraft auf dem Schwarzen Meere und an dessen Küste, sowie neue Ausgleichung der Schwerkraftsmessungen auf dem Atlantischen, Indischen und Groszen Ozean* (Zentralbureau der Internationalen Erdmessung. Neue Folge der Veröffentlichungen, Nr. 20). In-4°, VIII-160 p., 4 pl. dont 1 carte, Berlin, 1910]. Pour les données qui suivent, dans le présent ouvrage, il est regrettable que les observations relatives à la pesanteur, faites avec une extrême précision, n'aient pas été complétées par des sondages; les profondeurs sont extraites de la carte de l'Amirauté anglaise et de la carte du Prince de Monaco.

caractérisées par une diversité bien plus grande, à savoir la Mer Méditerranée et l'Océan Atlantique, d'un côté, et tout ce qui reste de l'Océan Pacifique, de l'autre.

Par opposition avec le domaine indien, les 8 déterminations effectuées dans la Méditerranée jusqu'à la profondeur de — 3 500 mètres n'ont fourni que des valeurs négatives.

Les lignes mesurées dans l'Océan Atlantique et dans le Pacifique montrent d'une manière concordante, pour autant qu'il est permis de tirer de leur examen des conséquences aussi générales, une large bordure positive entourant les continents, puis une zone neutre ou négative et un domaine positif fermé compris à l'intérieur de celle-ci. Ce dernier est en liaison avec deux des points les plus denses que l'on connaisse sur tout le globe. Dans l'Atlantique, l'aire correspondante est marquée par l'*Ile Saint-Paul* (0° 58′ de lat. N., 29° 15′ de long. W.), qui est formée de péridotite, dont la densité, sans tenir compte des intercalations encore plus lourdes de *crofe* et d'olivine, est de 3,287 (III, 3e partie, p. 1500). La région positive pacifique coïncide avec l'entassement basaltique puissant des *Iles Sandwich* (Honolulu 21° 17′ de lat. N., 157° 30′ de long. W.), dont la densité moyenne doit être évaluée à 3 au moins[1].

Considérons l'état des choses d'un peu plus près. Dans l'Océan Atlantique, Hecker exécuta, sur les lignes Hambourg-Rio et Rio-Lisbonne, 67 mesures à — 200 mètres et au-dessous; parmi ces mesures, l'une donna une valeur nulle, 29 sont positives et 37 sont négatives. Il y a un excédent de valeurs négatives. Les deux trajets se dirigent au Nord-Ouest de Saint-Paul, et c'est un signe de l'excellence des observations que dans les deux cas (de 1° 58′ lat. S. et 31° 23′ long. W., jusqu'à 6° 39′ lat. N. et 27° 25′ long. W., et de 3° 37′ lat. N. et 29° 47′ long. W. jusqu'à 10° 54′ lat. N. et 27° 21′ long. W.), les instruments aient permis de reconnaître l'extension des roches lourdes. Les profondeurs atteignent jusqu'à — 5 000 mètres, et le maximum positif fut atteint au point le plus élevé que l'on ait croisé sur l'arête équatoriale, par — 2 000 mètres, à environ 140 kilomètres de Saint-Paul; 10 des 29 mesures positives atlantiques tombent dans cet espace, de telle manière qu'une valeur négative importante subsiste pour tout le reste de l'océan. Mais, dans ce résidu négatif, on remarque encore deux mesures positives très élevées, s'appliquant à deux stations voisines situées par 35° de lat. N. et 12° de long. W. environ (— 3 500 et — 3 600 mètres), au milieu des hauts fonds sous-marins qui vont de Madère au banc du Gettysburg et qui doivent très probablement être considérés comme volcaniques.

1. Dana dit 3,4; comparer avec la note 1 de la p. 1588.

Nous conclurons qu'*il existe bien des roches lourdes dans les profondeurs de l'Océan Atlantique, mais qu'elles représentent vraisemblablement des gisements limités et locaux, dans un domaine ordinairement négatif.*

Nous avons décrit les Iles Sandwich (III, 3e partie, p. 1056) comme formant une chaîne d'îles allongée de 180° environ jusqu'à 155° de long. W.; à l'W.N.W., ces îles sont petites, basses, recouvertes de calcaire et extraordinairement escarpées ; à l'E.S.E., le soubassement volcanique affleure de plus en plus largement. L'activité volcanique se déplace vers l'E.S.E.; le gigantesque Mauna Loa est voisin de leur extrémité, par 19° 30′ de lat. N. et 155° 28′ de long. W. Or, comme Hecker n'a pas passé bien loin au Nord de cette chaîne d'îles, et qu'il indique déjà des valeurs positives par 29° 30′ de lat. N. et 177° 14′ de long. W., nous pouvons en conclure que les roches lourdes des Iles Hawaii s'étendent bien réellement sur 10 degrés de latitude et sur 22 degrés de longitude, de l'W.N.W. à l'E.S.E. Et comme Hecker a également pénétré, dès 12° 19′ de lat. N. et 161° 38′ de long. W., dans le domaine positif fermé, il est à présumer que, dans cette direction aussi, l'extension de ces roches est très grande. On n'a trouvé par contre aucun indice analogue vers le N.E., dans la direction de San Francisco. A la région des hautes valeurs positives du voisinage de Honolulu et d'Oahu fait immédiatement suite une zone qui commence entre 24° et 25° de lat. N. et atteint le 36e ou le 37e degré, et qui ne montre, à côté de 16 mesures négatives, que 3 valeurs positives; puis on atteint la ceinture positive de la Californie.

La zone négative est nettement dessinée aussi vers le S.W., dans la direction des Iles Tonga, moins nettement vers l'W.N.W., dans la direction de Yokohama. Là, en opposition avec les grandes valeurs négatives de l'avant-fosse des Tonga, l'avant-fosse japonaise, qui est située à l'intérieur de la ceinture positive, a fourni sur son versant oriental, par — 6 100 et — 6 400 mètres, des valeurs positives [1].

Les résultats acquis pour l'Océan Pacifique sont, dans leurs traits généraux, conformes à ceux qui ont été constatés pour l'Océan Atlantique.

Les travaux de Hecker n'ont pas pu donner une image exacte et complète de l'infrastructure des Océans, mais ils ont fourni une première esquisse qui est d'une extrême importance pour la connaissance de la Terre; ils ouvrent une voie tout à fait nouvelle à l'étude de la partie cachée par les eaux marines [2]. —

1. 34° 57, 149° 55′ et 34° 56′, 148° 27′; les profondeurs, d'après les isobathes des cartes japonaises de 1899, seraient plutôt — 6 600 et 7 100 mètres.

[2. On trouvera un bref résumé de ces travaux dans O. Hecker, *Bericht über die Schwerkraftmessungen auf dem Meere* (C. R. XVe Conf. gén. Assoc. Géod. Internat. réunie à Budapest du 20 au 28 septembre 1906, vol. II, Beilage XII, p. 242-249). Voir aussi O. Hecker.

Pour apprécier les conséquences relatives à la question de la compensation isostatique, faisons d'abord remarquer ce qui suit :

Les densités des roches, abstraction faite des sables et des graviers meubles qu'on ne peut guère évaluer numériquement, varient de 1,1 ou 1,3 (houille) à 3,3, chiffre rarement dépassé (minerais). La moyenne de 12 échantillons de gneiss du Pikes Peak a donné, d'après Whitman Cross et Gilbert, 2,615, et la densité des roches massives, dont il y a lieu de tenir compte dans les hautes montagnes, ne peut que rarement descendre au-dessous de 2,3 ou monter au-dessus de 2,85. Ces étroites limites montrent combien il est difficile d'admettre que le déficit et l'excédent puissent se compenser dans la série des roches.

Les roches éruptives simiques les plus lourdes dépassent seules ces limites et, à ce point de vue, l'on doit attribuer une importance particulière aux roches basaltiques fluides, dont la densité est de 3 environ. Sur le fond des mers, où la sédimentation est presque nulle, les laves peuvent s'entasser sur elles-mêmes; comme il ne se produit pas d'érosion, les plateaux ne sont pas interrompus par des vallées, et l'action sur le pendule ou le baromètre est directe.

Sur les continents, les plateaux de basalte sont facilement affouillés; leurs débris vont à la mer. Le plateau de trapp (basalte) du Dekkan, qui s'étalait jadis dans la péninsule hindoue sur près de 10° de latitude et 16° de longitude, avec une superficie qui ne devait guère être inférieure à 300 000 kilomètres carrés, se serait conservé jusqu'à nos jours dans toute son étendue, s'il avait couvert le fond de la mer. Sur la terre ferme, il a été découpé vers l'Est en lambeaux isolés [1]. Tandis que la partie occidentale, encore aujourd'hui continue, s'étalait sur monts et vallées d'un continent et renferme des intercalations de couches d'eau douce, il existe près de Rajamahendri, sur le bas Godaveri, un lambeau isolé, situé à 336 kilomètres du bord de la masse principale actuelle, et des dépôts saumâtres montrent que, là, les coulées ont atteint la côte. La déclivité du pays était donc dirigée vers l'Est comme aujourd'hui, et les parties des tables de basalte qui ont été détruites ont été emportées dans le Golfe du Bengale. Voilà donc un cas où la densité moyenne des roches sous-marines s'est trouvée relevée par apport, le trapp étant plus lourd que le gneiss.

Die Schwerebestimmung an der Erdoberfläche und ihre Bedeutung für die Ermittelung der Massenverteilung in der Erdkruste (Zeitschr. Gesellsch. f. Erdkunde, Berlin, 1909, p. 361-378, pl. 4-6, dont 2 cartes). — Pour une critique des méthodes suivies par O. Hecker, voir L. A. Bauer, *On Gravity Determinations at Sea* (Amer. Journ. of Sc., 4th ser., XXXI, 1911, p. 1-18); réponse de O. Hecker (Ibid., XXXII, 1911, p. 388-393); réplique de L. A. Bauer : *Hecker's Remarks on Ocean Gravity Observations* (Ibid., XXXIII, 1912, p. 245-248).]

[1. Voir I, p. 524; III, 4e partie, p. 1525.]

Les puissants plateaux de basalte du soubassement de l'Islande[1], comme le montrent les couches à plantes intercalées, ne sont pas davantage sortis de la mer; les prolongements affaissés du horst occupent, en tout cas, un grand espace sous la mer. A côté de cet exemple, on peut citer non seulement les Iles Sandwich et Saint-Paul, mais aussi les plateaux basaltiques de Kerguelen[2] et d'un grand nombre d'autres îles. On songe dès lors aux laves foncées des mers lunaires, qui n'atteignent pas non plus toujours le bord de ces dépressions.

D'après cela, il n'y aurait pas lieu de s'étonner si les mesures de Hecker indiquaient une densité sous-marine encore plus grande et plus uniforme. Mais il y a encore très loin de là à la démonstration d'un déficit sous les continents ou à une compensation active, c'est-à-dire à l'hypothèse d'une influence tectonique venant de la mer et transformant les continents et les montagnes, conformément à la théorie isostatique de Dutton et de ses continuateurs, soit par l'intermédiaire de la viscosité, soit en agissant sur un corps rigide, comme l'a supposé Chamberlin. Il est vrai que quelques exemples d'injection passive, par affaissement, ont été signalés : ainsi Salomon a admis que la surrection de l'Adamello résultait de l'affaissement de la plaine lombarde[3]. Mais, dans ces exemples, il ne s'agit jamais que de magmas fondus et de conséquences secondaires, accidentelles, du grand phénomène de la formation des montagnes. Dès que l'on envisage ce dernier, aucune hypothèse de ce genre ne tient plus debout.

La plus grande région positive de Hecker, dont le centre est l'Océan Indien, appartient en majeure partie à l'hémisphère atlantique. La concordance de longues sections de côtes à l'Est et à l'Ouest de l'Atlantique, de même que le prolongement de la ligne du Cameroun dans la mer[4], montrent déjà que de notables parties du lit marin ressemblent beaucoup aux continents voisins, avec addition peut-être de coulées volcaniques.

C'est justement de l'Océan Indien que l'on peut parler avec un peu plus de précision (fig. 405).

A la fin de sa vie si active, l'éminent directeur du Service géologique de l'Inde, Lud. Griesbach, m'a honoré d'une conversation sur la presqu'île hindoue. C'est certainement, me disait-il, un fragment

[1. Voir III, 2e partie. p. 950-956; 3e partie, p. 1362; 4e partie, p. 1525.]

[2. II, p. 336, 337; consulter en outre, dans l'ouvrage : *Deutsche Südpolar-Expedition, 1901-1903. Band II (Kartographie, Geologie)*, Heft II, les mémoires suivants : E. Werth, *Aufbau und Gestaltung von Kerguelen* (p. 89-185, 33 fig., pl. IX-XIV, 3 cartes); E. Philippi, *Geologische Beobachtungen auf Kerguelen* (p. 187-207, 2 fig., pl. XV-XXII); R. Reinisch, *Petrographische Beschreibung der Kerguelen-Gesteine* (p. 209-222, 6 fig.). In-4°, Berlin, 1908.]

[3. III, 4e partie, p. 1495.]

[4. III, 3e partie, p. 986-989.]

FIG. 405. — Principaux gisements jurassiques, crétacés et tertiaires du pourtour de l'Océan Indien, d'après P. Lemoine (*Études géologiques sur le Nord de Madagascar*. In-8°, Paris, 1906, fig. 137, 138 et 140).

Li. Lias; Aa. Aalénien; Ba. Bathonien; K. Callovien et Kimeridgien; Js. Jurassique supérieur; N. Néocomien; C. Cénomanien; S. Sénonien; E. Éocène; Aq. Aquitanien.

entouré de fractures dans toutes les directions. On pourrait tout au plus la comparer au secteur Nord-Ouest d'un cercle beaucoup plus étendu, avec ses roches les plus récentes au Nord-Ouest, mais celles-ci seraient probablement encore précambriennes. Nous avons déjà décrit l'Afrique du Sud et l'Inde comme représentant les fragments d'un continent (I, p. 492). Une raison majeure en faveur de cette conclusion était l'horizontalité des couches de Gondwana à *Glossopteris*, reposant, d'un côté comme de l'autre, sur des terrains beaucoup plus anciens. Depuis lors, le même état de choses a été constaté à Madagascar[1]. A l'époque de cette flore, cette partie de la Terre de Gondwana était un continent ininterrompu; puis il s'est effondré par fragments, en partie suivant de longues cassures rectilignes. Le rapprochement des travaux des savants anglais à Katch et dans le Kattyawar, de ceux de Bornhardt dans l'Afrique Orientale allemande et des recherches de Lemoine à Madagascar montre que le Lias marin de cette grande île constitue la première trace de la mer[2]. Puis la grande transgression du Dogger moyen s'étend de l'extrême Nord de la Terre François-Joseph à travers une partie de la Russie d'Europe, la Bokharie et le Baloutchistan jusqu'à la côte Nord-Ouest de la péninsule, par 22° de lat. N., jusqu'à la côte Ouest de Madagascar, par 23° de lat. S. et jusqu'à la côte de l'Afrique Orientale[3], par 10° de lat. S., d'après les documents que nous possédons à l'heure actuelle. La transgression du Crétacé supérieur s'avance partout plus loin vers le Sud, et elle a également été signalée entre Madagascar et l'Inde[4]. Les trapps du Dekkan forment, sur quatre degrés de latitude, la côte occidentale de la péninsule. Il ne sont pas, comme on l'a déjà vu, sortis de la mer, mais leurs prolongements occidentaux sont submergés.

La côte orientale de Madagascar est également une fracture[5]. On a

1. M. Boule, *Sur l'existence d'une faune et d'une flore permiennes à Madagascar* (C. R. Acad. Sc., CXLVI, 1908, 1er sem., p. 502-504).

[2. On sait aujourd'hui, grâce aux découvertes de A. Merle et E. Fournier, qu'à Madagascar, l'invasion marine a commencé dès l'époque triasique (voir III, 3e partie, p. 990).]

[3. Sur la succession des couches jurassiques marines et terrestres dans l'Afrique Orientale Allemande, consulter les mémoires suivants de Edw. Hennig : *Zur geologischen Erschliessung der Deutschen Kolonien in Afrika* (Die Naturwissenschaften, 2. Jahrg., 1914, Heft 3); *Zur Paleogeographie des Afrikanischen Mesozoikums* (Branca-Festschrift. Wilhelm Branca zum siebzigsten Geburtstage. Eine Festschrift seiner Schüler. Gr. in-8°, Leipzig, 1914, p. 76-123, fig.); *Beiträge zur Geologie und Stratigraphie Deutsch-Ostafrika, I, II; Wissenschaftliche Ergebnisse der Tendaguru-Expedition, 1909-1912* (Archiv. f. Biontologie, Berlin, 1913, III, Heft 3. In-4°, p. 1-72, 7 fig., 4 pl. dont 2 cartes).]

4. Une petite carte des transgressions est donnée par P. Lemoine, *Études géologiques sur le Nord de Madagascar*. In-8°, Paris, 1906, p. 466, fig. 143. F. L. Kitchin a excellemment exposé les difficultés qui subsistent encore aujourd'hui pour le Crétacé inférieur, dans son mémoire : *The Invertebrate Fauna and Palæontological Relations of the Uitenhage Series* (Annals of the South African Museum, VII, 1908, p. 21-250, pl. II-XI; en particulier p. 51-60).

[5. Voir III, 3e partie, p. 989, et fig. 225, p. 991.]

trouvé dans son voisinage des profondeurs atteignant — 5 349 mètres. Vers le Nord, le fond de la mer montre des traces de schistes chloriteux avec de la séricite; de la Réunion et de l'Ile Maurice partent des traces volcaniques, principalement basaltiques[1].

On a toute raison de conjecturer que le sous-sol de l'Océan Indien ressemble à celui des continents voisins. La valeur plus grande de la pesanteur indiquerait une extension sous-marine considérable des trapps du Dekkan, et plus au Sud un prolongement des basaltes des Iles Crozet, Kerguelen, Heard, par exemple; mais rien n'indique une influence latérale du continent ou des hautes chaînes de l'Asie, par l'effet de semblables épanchements de laves.

Les données analogues sur le fond de la mer sont troublées dans l'hémisphère pacifique par des plissements; mais le fait que nous trouvons aux Nouvelles-Hébrides des plissements[2] et en Nouvelle-Calédonie des charriages[3], et que des cordillères en arcs de cercle s'avancent au loin dans l'Océan, s'oppose à l'hypothèse d'une compensation isostatique venant de la mer. Une telle action fermerait tout d'abord les avant-fosses; or, les mesures les plus profondes exécutées dans l'une des avant-fosses (Tonga) ont justement fourni à Hecker des valeurs négatives.

Les recherches provoquées par la théorie de la compensation ont ainsi conduit à la découverte d'un grand nombre de faits nouveaux, notamment en ce qui concerne la constitution probable du fond des mers, mais, jusqu'à présent, elles n'ont donné aucun éclaircissement sur le développement de la Face de la Terre. Certaines hypothèses auraient sans doute trouvé moins de faveur s'il avait été possible d'éviter, dans la pratique, l'exagération d'échelle des profils[4], si la comparaison des continents avec des massifs limités par des talus verticaux n'avait pas été généralisée au-delà de toute mesure, et si l'on s'était toujours rappelé que plus de la moitié de la surface planétaire se trouve à une profondeur de 3 000 mètres au-dessous du niveau de la mer, et qu'en somme 0,6 °/₀ seulement de cette surface dépasse l'altitude de 1 000 mètres.

1. J. Thoulet, *Fonds sous-marins entre Madagascar, la Réunion et l'Ile Maurice* (C. R. Acad. Sc., CXLIV, 1907, 1er sem., p. 405-407.

[2. Voir III, 3e partie, p. 1041-1044.]

[3. III, 3e partie, p. 1044-1046.]

[4. Comme exemple d'un segment de la circonférence terrestre figuré avec tous les détails du relief, sans exagération de l'échelle des hauteurs, voir le beau profil de Ferd. Lingg, *Erdprofil der Zone von 31° bis 65° N. Br. im Massverhältniss 1 : 1 Million*. In-folio, avec 10 p. de texte et 2 annexes. München, 1886.]

III

Contraction du Globe terrestre. Théorie d'Élie de Beaumont. Caractère dissymétrique des chaînes de montagnes. Plissements en retour dans l'Édifice Asiatique. — Diminution du rayon terrestre; rapport entre l'amplitude des affaissements et l'importance des mouvements tangentiels. Age récent des Alpes et des Dinarides. — Rigidité du Globe. Consolidation de l'écorce. Origine des avant-fosses. — Déplacements négatifs des rivages et prétendus mouvements « épirogéniques »; transgressions. — Problèmes divers.

Coup d'œil général. Aspects successifs du Globe terrestre tournant autour de son axe. — Unité de structure des arcs Asiatiques; Altaïdes Orientales et Occidentales; Australie; la presqu'île de l'Inde. — Europe et Afrique : Ouralides et Calédonides; contraste entre les Altaïdes Occidentales et les Dinarides; Altaïdes posthumes, Alpides; Saharides, Karroo, Chaînes du Cap. — Amérique : Chaîne des États-Unis; Laurentia; Appalaches; Montagnes Rocheuses, Saint-Élie, Montagnes Intermédiaires; Chaîne des Andes; avant-pays Brésilien; Antilles Australes. — Alaskides; l'Océan Pacifique et ses arcs successifs; l'Antarctide.

Contraction du Globe terrestre[1]. — Dans cet ouvrage, nous sommes partis de l'idée que les dislocations sont le résultat de mouvements qui sont déterminés par la diminution de volume de la planète (I, p. 139). Ces mouvements ont été divisés en radiaux (affaissements) et en tangentiels (charriages et plissements), entre lesquels se partagent les tensions. Les doctrines d'Élie de Beaumont reposaient aussi sur la contraction de la planète, et il pensait que les chaînes de montagnes plissées ont pris naissance, pour ainsi dire, dans les mâchoires d'un étau[2], deux masses puissantes s'avançant l'une vers l'autre. A l'encontre de cette théorie, nous avons admis dans le présent ouvrage qu'un mouvement d'ensemble, unilatéral, mais non uniforme, se produit. D'où l'opposition entre l'avant-pays et l'arrière-pays, justifiant l'idée dominante que *l'avant-pays est débordé par le plissement*. Cette première conception était sortie principalement de la concordance approximative d'allure des lignes directrices alpines et des lignes varisques[3].

L'étude des avant-pays a fait ressortir de plus en plus clairement le caractère unilatéral des chaînes de montagnes plissées. Des exemples se sont révélés dans lesquels l'avant-pays possède une direction tellement différente qu'il ne saurait être question d'admettre un mou-

1. On peut nommer ici, comme l'un des partisans les plus convaincus de cette doctrine, en Allemagne, le Conseiller des Mines von Dücker qui, dans divers articles publiés de 1861 à 1886 dans le *Berggeist* de Cologne, puis dans des communications présentées aux Congrès des Naturalistes de Giessen (1864) et de Hanovre (1865), ainsi que de Baden-Baden (1879), a combattu la théorie des soulèvements, alors régnante, en s'appuyant sur Favre et sur Élie de Beaumont. « La cause, disait-il en 1864, réside dans le ridement de l'écorce terrestre lors de la contraction du Globe tout entier. » Runge s'exprime d'une manière analogue dans la *Geologie von Ober-Schlesien* de F. Roemer. In-8°, Breslau, 1870, p. 460.

[2. Voir le schéma donné par B. de Chancourtois dans sa note *Sur la théorie des soulèvements* (Bull. Soc. Géol. de France, 2e sér., XXIX, 1871-72, p. 238-240).]

3. Ed. Suess, Anzeiger der K. Akad. der Wissenschaften Wien, 17. Juli 1873, p. 130-131.

vement commun aux deux régions contiguës. L'ancienne hypothèse d'Élie de Beaumont semblait peut-être applicable au cas des Calédonides, mais déjà, sur sa bordure méridionale, la direction de ce système est recoupée par celle des plissements armoricains[1]. Le massif du Nord de la Chine constitue, dans la haute vallée du Hoang-ho, un avant-pays jouant le rôle d'un obstacle, comme le montre le renversement de la Chaîne de l'Ala-Chan[2]; en même temps, ce massif sert d'arrière-pays, à l'Est, pour les chaînons plissés du Chan-si. Là, les documents dont nous disposons indiquent un mouvement d'ensemble, affectant simultanément une notable partie de l'Asie[3]. Les lignes directrices sinueuses des Alpides trahissent la résistance des horsts[4]. Dans l'Argentine, l'avant-pays, reconnaissable à la série de ses couches, est affecté sur une largeur notable par le plissement des Andes[5]. L'énergie du refoulement est donc différente, mais dénonce partout, à l'exception du premier exemple, un mouvement unilatéral.

Le *plissement en retour*, dans l'Édifice Asiatique, résulte de l'excédent de volume des zones supérieures du Globe terrestre[6]. Sur la périphérie de l'Asie, pour autant que nous la connaissons, ce phénomène, par comparaison avec les plis déversés en avant, demeure limité à un espace restreint; mais, quand les arcs deviennent des rameaux libres, le plissement en retour domine, d'un côté dans les Montagnes Rocheuses[7] et de l'autre dans la partie des Altaïdes située au delà du horst d'Azov[8]. Il est vrai que, dans les Montagnes Rocheuses, s'y ajoute la singulière division en coulisses obliques dont nous avons parlé[9] et qu'au delà du horst d'Azov, le plissement normal en avant n'est pas du tout visible; la désignation de plissement en retour n'est justifiée que par une vue d'ensemble de la totalité de l'édifice.

On objecte que *l'amplitude verticale des affaissements n'est pas en rapport avec celle des mouvements tangentiels*. La profondeur moyenne des mers actuelles, évaluée à 4 000 mètres, leur extension sur les 3/4 de la surface planétaire correspondraient à un affaissement total, c'est-à-dire à une diminution générale du rayon, de 3 000 mètres environ. Ceci

[1. Voir III, 2e partie, p. 609 et suiv.]

[2. III, 1re partie, p. 255-266.]

[3. III, 4e partie, p. 1383 et suiv.]

[4. I, p. 302, fig. 51; p. 664, etc.]

[5. III, 3e partie, p. 1309-1314; consulter en outre : W. Penck, *Hauptzüge im Bau des Südrandes der Puna de Atacama, Cordilleren Nordwestargentiniens* (Neues Jahrb. f. Min., XXXVIII. Beil.-Bd., 1915, p. 643-684, pl. XXIV-XXVII, dont 1 carte et 1 coupe); H. Gerth, *Neuere Fortschritte der Geologischen Forschung in Argentinien* (Geol. Rundschau, VI, 1915, p. 36-43).]

[6. Voir III, 4e partie, p. 1381-1393.]

[7. III, 3e partie, chap. XX.]

[8. III, 2e partie, chap. X, XI, XII.]

[9. I, p. 759.]

donnerait donc une diminution totale de 19 kilomètres seulement pour la circonférence, ce qui est bien loin de suffire aux résultats constatés. On oublie dans cette objection que les bassins maritimes, localisés, ne sont pas les seuls témoins de la contraction de la planète; le plissement en avant, sous l'influence directe d'un avant-pays qui s'affaisse, prend, en particulier, une extrême importance (I, p. 181). Il n'a d'abord été tenu compte que d'un seul exemple de grande amplitude, la « Faille du Midi » de Belgique. La comparaison des Calédonides dans l'Ouest de l'Écosse et des Alpes avec le bassin houiller franco-belge nous a appris plus tard que, dans ces trois cas, qui représentent les formations montagneuses les plus puissantes de l'Europe, le mouvement s'est accompli sur des surfaces obliques, remontant des profondeurs vers le haut [1], et le plissement est ainsi devenu un phénomène secondaire. Dans ces circonstances, il n'y a pas eu séparation absolue entre les tensions radiales et les tensions tangentielles.

La résolution des efforts s'est effectuée d'une seule pièce, et cela suivant une ou plusieurs surfaces (plans de charriage de premier ordre), se rapprochant plus ou moins de la résultante des deux tensions. Des paquets en forme de coins de grandes dimensions ont été transportés au-dessus de l'avant-pays, et *l'affaissement a été pour ainsi dire absorbé dans la chaîne de montagnes elle-même, et peut-être encore aussi dans l'avant-fosse.* Les effets ont dû s'y manifester si profondément que l'apparition de roches pacifiques dans les Alpes en a été la conséquence, et que dans les avant-monts des Pyrénées, au Nord-Ouest, ainsi que dans l'Atlas Méditerranéen, les roches vertes ont pu pénétrer jusque dans des sédiments lagunaires et dans le Trias de type germanique.

La Chaîne des Alpes est aujourd'hui la mieux connue des hautes chaînes de montagnes récentes. C'est pourquoi il est bon de rappeler que ce n'est pas seulement sa bordure externe qui a été renversée après le dépôt d'une partie des formations tertiaires. Sans doute, il existe des discordances et des ingressions plus anciennes, comme celles des couches de Gosau et de l'Éocène du Nord du Tyrol, qui mettent hors de cause l'existence d'édifices antérieurs; mais, d'autre part, l'intercalation de la longue zone tertiaire du Flysch des Aiguilles d'Arves, à l'Est du Pelvoux et du Mont-Blanc [2], par exemple, de même que le long synclinal des Dinarides s'avançant dans l'Ouest du Tyrol, ou le lambeau de sédiments du deuxième étage méditerranéen qui se montre pincé dans les terrains encaissants près de Borgo, dans le Val Sugana [3], et beaucoup d'autres gisements permettent de reconnaître avec certitude que,

[1. Voir III, 4e partie, p. 1431 et suiv.]
[2. III, 2e partie, p. 705.]
[3. I, p. 411.]

dans les Alpes et aussi dans cette partie des Dinarides, les traits principaux de l'état actuel n'ont apparu que vers le milieu de l'époque tertiaire. Tous les observateurs récents sont unanimes sur ce point[1].

D'ailleurs, la contraction qui s'est fait sentir dans ces parages a dû atteindre une amplitude prodigieuse. Elle est déjà dirigée vers le Nord dans l'avant-pays Varisque septentrional. Au Sud de cet avant-pays existait une avant-fosse, et c'est au Sud de celle-ci que se produisirent, toujours vers le Nord, les grands charriages des nappes de recouvrement. Les Alpes Carniques, contemporaines de l'avant-pays, furent de même poussées vers le Nord, et il en fut ainsi également pour la série Dinarique déposée sur le substratum Carnique, malgré ses plis tournés vers le Sud[2]. Puis les Dinarides s'intercalent entre les Alpes et les Apennins; cette chaîne, à son tour, se meut vers le N.E., et c'est ainsi que les Dinarides deviennent l'avant-pays des Apennins. Personne ne peut dire jusqu'à quelle distance lointaine cette grande distorsion de la surface planétaire a pu s'étendre au Sud et au Sud-Ouest.

Or sous les hautes chaînes il n'y a pas, jusqu'aux grandes profondeurs, un déficit, comme l'exigerait la compensation isostatique, mais, chaque fois, la zone que les charriages ont recouverte sert de support à leur masse.

Ce sont justement les travaux sur la compensation isostatique qui ont conduit aux vues sur la *rigidité du Globe terrestre* dont il y a lieu de nous occuper. Thomson et, après lui, G. H. Darwin ont pensé que la rigidité était à peu près égale à celle de l'acier[3]. Pour les études qui nous concernent, il semblerait qu'elle est simplement fonction de la contraction de la planète et de la pression, fonction qui se manifeste seulement au moment où la pression cesse de se faire sentir. Les matériaux sont probablement ceux que les intrusions amènent des profondeurs, c'est-à-dire des roches simiques ou saliques. La fusion est due aux gaz juvéniles. Ce sont eux aussi qui donnent naissance aux batholithes éventuels.

Maintenant se pose la question de savoir ce qu'il faut entendre par le mot de consolidation (*Erstarrung*), dont nous nous sommes souvent servis

[1. De récentes observations, dues à P. Termier et J. Boussac, permettent de préciser l'âge des grands charriages dans les Alpes Franco-Italiennes : la discordance complète des couches rupéliennes sur le granite et le Permo-Houiller, aux environs de Savone, ne laisse aucun doute sur la date oligocène de ces mouvements, qui, en raison de l'unité du phénomène, entraîne nécessairement un âge similaire pour l'ensemble de l'arc Alpin; P. Termier et J. Boussac, *Le massif cristallin ligure* (Bull. Soc. Géol. de France, 4e sér., XII, 1912, p. 272-311, 7 fig., pl. X : carte et coupe). Voir aussi W. Kilian, *Présence de galets de variolite dans les conglomérats burdagaliens des environs de Grenoble et le Miocène des Basses-Alpes* (Id., Compte rendu sommaire, 1915, p. 77) et les remarques d'Emm. de Margerie (Ibid., p. 78).]

[2. Voir III, 1re partie, p. 459.]

[3. Consulter A. A. Michelson, *Preliminary Results of Measurements of the Rigidity of the Earth* (Journ. of Geol., Chicago, XXII, 1914, p. 97-130, 16 fig.).]

dans cet ouvrage. Nous avons rencontré ce phénomène sous une forme particulière, à l'état de lignes disjonctives et de fossés (*graben*), c'est-à-dire de fissures s'ouvrant à partir de la surface. Dans l'Afrique Orientale, ces accidents attestent, par leur allure rectiligne, que les tensions orogéniques unilatérales manquent[1]. Les fissures disposées en arc de cercle de l'Asie Orientale indiquent au contraire la présence de ces tensions, se manifestant dans une seule direction[2]. La vallée rectiligne du Rhin montre que, là, les anciennes tensions varisques se faisaient aussi peu sentir à l'époque tertiaire que les tensions alpines[3]. Ce fait est d'autant plus remarquable que les lignes directrices varisques ne sont pas très différentes, en somme, de celles des Alpes Suisses, à tel point que les Alpes ont dû être considérées comme des Altaïdes posthumes, et qu'on a pu supposer, dans la formation des Alpes, un réveil d'efforts accumulés depuis longtemps[4]. Puisque, sur les bords du Rhin, les tensions orogéniques font défaut, avons-nous dit, on peut considérer cette région comme devenue rigide. Il n'est pas démontré que cette rigidité dépende d'un refroidissement local de la Terre. Les Alpes, par leur plissement à l'intérieur d'un cadre, occupent une situation exceptionnelle. Si l'on connaissait un plus grand nombre de cas de ce genre et si une vue d'ensemble de toute la Terre était possible, on comprendrait comment les tensions latérales sont distribuées dans l'espace. Qu'elles ont été générales jadis, c'est ce que l'on a déduit du plissement quasi universel des terrains pré-cambriens[5]; qu'elles ne le sont pas aujourd'hui, c'est ce qui résulte de la distribution des chaînes plissées. En Asie, cette distribution est très uniforme depuis une époque reculée, comme le montre le parallélisme du faîte et de la périphérie[6]. Mais, ici, il y a lieu de peser le fait que les deux rameaux libres de l'Édifice Asiatique, les Montagnes Rocheuses et la partie des Altaïdes située en dehors du horst d'Azov, sont devenues rigides, les premières vers la fin de la période crétacée, la seconde après la dislocation du terrain houiller supérieur. L'on a également soulevé la question de savoir si, peut-être, les affaissements survenus en Europe y auraient fait apparaître cette rigidité, marquant la fin des tensions. En opposition avec ces extrémités devenues rigides, les mouvements orogéniques ont continué jusqu'à une époque tardive non seulement sur le bord externe, mais encore dans l'intérieur de l'Asie; on peut citer comme

[1. Voir I, p. 535-546; III, chap. XVII.]
[2. III, 1re partie, p. 188; 3e partie, p. 1013; 4e partie, p. 1381, etc.]
[3. III, 2e partie, p. 581, fig. 107.]
[4. III, 3e partie, chap. XV.]
[5. III, 1re partie, p. 7.]
[6. III, 1re partie, p. 138, 186, 246, etc.]

exemples les couches jurassiques plissées des bords de la Bouréïa[1], les plis récents qui se montrent sous la plaine du Nord-Ouest de la Mandchourie et sur les bords de l'Amour[2], le synclinal de couches récentes du Gobi encastrées, dans le Nan-Chan, entre les Monts Richthofen et le Tolaï-Chan[3], les couches d'Artush renversées au pied méridional du Tien-Chan[4], les couches jurassiques plissées à rebours des bords de l'Angara[5], etc., jusqu'aux couches tertiaires à empreintes végétales, relevées verticalement, de la Nouvelle-Sibérie[6].

Un contraste absolu est fourni par l'*Afrique*, et l'absence de plissement a sans doute été le motif pour lequel on a cherché dans le domaine atlantique le point d'attache de la Lune. Mais la rigidité n'a été acquise dans le Sahara qu'après le Silurien supérieur[7], dans l'alignement Armoricain qu'après le Carbonifère moyen[8], dans les Montagnes du Cap qu'après le Permien[9]. Ici encore, on peut se demander si l'interruption due à l'effondrement de l'Atlantique n'a pas provoqué l'immobilité des Appalaches. L'état actuel de la science ne jette aucune lumière sur ces questions; on constate seulement que l'état des choses est différent dans la moitié pacifique du Globe.

Tout autour de l'Océan Pacifique[10], puis le long des arcs de bordure de l'Asie Méridionale jusqu'à la Mer Adriatique[11], ainsi qu'au-delà du Pôle, dans la Chaîne des États-Unis[12], et enfin très loin de là, dans les Montagnes du Cap[13], on observe, en dépit des exceptions déjà signalées (Saint-Élie, Arc Birman, Oural), une disposition des chaînes de plissement telle que, pour cette portion étendue de la Terre, à côté de la contraction du Globe, l'influence de *marées planétaires* ou de la *rotation* peut également être considérée comme possible. Une pareille influence n'irait pas sans affecter quelques-unes des idées fondamentales de la Tectonique; car tandis qu'on a supposé jusqu'à présent que les zones profondes de la Terre se contractent en refoulant les zones supérieures, il y aurait lieu, désormais, de tenir compte d'une action se propageant de haut en bas. Dans les Alpes, le « plissement des sommets » (*Scheitel-*

[1. Voir III, 1re partie, p. 162.]
[2. III, 1re partie, p. 156 et 168.]
[3. III, 1re partie, p. 228, 233, etc.]
[4. I, p. 673.]
[5. III, 1re partie, p. 33 et 47.]
[6. III, 3e partie, p. 1114.]
[7. III, 2e partie, p. 679.]
[8. II, p. 131-146; III, 2e partie, chap. XI.]
[9. III, 3e partie, p. 995.]
[10. II, chap. III; III, 1re partie, chap. IV et VI.]
[11. III, 1re partie, chap. VII et VIII; 4e partie, p. 1410-1423.]
[12. III, 2e partie, p. 927-931.]
[13. III, 3 partie, p. 994-1001.]

faltung)[1] est un phénomène bien accusé, dont l'intervention faciliterait beaucoup l'intelligence des nappes; malheureusement, la direction des Alpes ne suit pas les lignes des marées et de la rotation.

La différence entre les affaissements atlantiques et les *avant-fosses* est très nette. *Tandis que les affaissements atlantiques, et en particulier ceux de l'Europe, sont disposés à angle droit sur les plissements, qui sont interrompus et plus récents que ces dépressions, les avant-fosses sont en rapports étroits avec les plis et suivent la même direction.*

Middlemiss a déjà reconnu depuis longtemps que l'avant-fosse de l'Himalaya est une zone d'affaissement, et il a supposé que le déversement des plis et l'affaissement ont marché, pour ainsi dire, la main dans la main[2]. Quelque chose d'analogue s'est montré, sur une très petite échelle, à la limite de la Chaîne du Jura et du Jura tabulaire; mais on constate en même temps, dans cet exemple, que l'affaissement de la vallée du Rhin a permis aux plis de s'avancer (III, 4e partie, p. 1427). On serait presque tenté de croire que l'avant-pays s'est enfoncé à mesure que s'avançaient les montagnes. D'autres faits, l'allure des Antilles Septentrionales, par exemple, tendent à indiquer que l'affaissement est le phénomène primaire.

La zone houillère qui s'étend le long de la bordure Nord des Altaïdes Occidentales, de la Silésie à l'Irlande et de l'autre côté de l'Océan jusqu'au delà du Mississippi[3], la zone de Flysch et la zone de Mollasse au Nord des Alpes, la zone des Siwaliks au Sud de l'Himalaya représentent, en somme, des avant-fosses comblées. Leur modification ultérieure a consisté en ceci, que la partie immédiatement voisine des montagnes a été chevauchée et englobée dans les plissements; c'est ainsi que le bassin houiller de la Belgique s'enfonce, à l'état de synclinal comprimé et subdivisé par des surfaces « listriques »[4], sous les terrains plus anciens du Sud. En même temps, la partie plus éloignée des montagnes, en Belgique comme dans le bassin houiller des Appalaches, et pour la Mollasse Suisse comme dans la zone des Siwaliks, demeure horizontale et n'a pas été dérangée. *Les avant-fosses ne sont pas des synclinaux, dans l'acception tectonique de ce mot,* car l'un des côtés appartient à l'avant-pays et l'autre à la chaîne plissée[5]. En prin-

[1. Voir III, 2e partie, p. 818.]

2. C. S. Middlemiss, *Physical Geology af the Sub-Himalaya of Garhwál and Kumaun* (Mem. Geol. Survey of India, XXIV, pt. 2, 1890, 142-v p., 4 pl. dont 1 carte géol.; en particulier p. 138 et suiv.). — Des remarques analogues ont été formulées dès 1864 par H. B. Medlicott, dans sa monographie : *On the Geological Structure and Relations of the Southern Portion of the Himalayan Range between the Rivers Ganges and Ravee* (Ibid., III, pt. 2, 1864, 209 p., 5 pl. dont 1 carte géol.), et dans la note : *The Alps and the Himalayas, a Geological Comparison* (Quart. Journ. Geol. Soc., XXIV, 1867, p. 34-52).

[3. Voir III, 2e partie, p. 651-662.]

[4. III, 4e partie, p. 1444.]

[5. Sur le mode de formation des avant-fosses, voir E. Oddone, *Sulla tettonica delle fosse*

cipe, à l'exception des baies qui découpent les côtes à rias, on ne connaît pas de bras de mer qui aient pris naissance, sous le jeu des pressions latérales, à l'état de synclinaux. Les bassins maritimes résultent de la jonction d'affaissements multiples, comme le montre l'histoire de la Méditerranée [1].

Toutes les chaînes de plissement ne possèdent pas d'avant-fosses; beaucoup s'atténuent peu à peu ou sont précédées de *parmas*, comme l'Oural [2] et les Appalaches [3]. Il n'est d'ailleurs nullement démontré que toutes les chaînes plissées aient surgi des profondeurs en s'élevant sur un plancher oblique. Un grand nombre ont très probablement subi des plissements successifs, ou bien, comme pour les Appalaches dans l'Alabama [4], les plis y passent par endroits à des chevauchements. La « Faille du Midi » elle-même appartient plutôt à la périphérie des Altaïdes. Mais toutes, en raison de la lutte générale pour l'espace, manifestent la tendance à pénétrer dans les dépressions, comme les plis jurassiens que nous venons de signaler dans la vallée du Rhin, ou à chevaucher par-dessus, ou même à y faire naître des plis. C'est pour cela que l'on trouve si souvent, dans les plis, une série marine plus riche que dans l'avant-pays, et c'est pour cela que nous avons signalé à maintes reprises, dans cet ouvrage, des fonds de mers écrasés. En outre, il y a peut-être des raisons de penser que des affaissements ultérieurs interrompent parfois le processus du plissement; dans ce cas, cependant, la relation de cause à effet n'est pas certaine, et l'on voit dans les Montagnes Rocheuses le plissement se produire sans effondrement ou affaissement préalable. D'un autre côté, il n'est pas impossible que, par exemple, l'avant-pays chevauché et affaissé s'enfonce encore au-dessous des hautes montagnes, en provoquant la formation de zones trop différenciées ou d'écailles trop épaisses pour qu'on puisse en attribuer l'origine à un simple plissement. Peut-être cette idée est-elle applicable à certaines parties des Alpes; le Hazara paraît en offrir un bon exemple [5].

oceaniche (Bull. Soc. Sismol. Ital., XIII, 1909); E. Horn, *Ueber die geologische Bedeutung der Tiefseegräben* (Geol. Rundschau, V, 1914, p. 422-448, 9 fig., pl. VIII : phot.).]

1. L'allure du remplissage sédimentaire peut être synclinale, à peu près comme le représente Ém. Haug (*Traité de Géologie*, I, 1907, p. 159, fig. 36); mais ce n'est par là l'idée tectonique du *géosynclinal*, et le *géanticlinal* ne saurait passer pour son contraire. Le mot « géanticlinal » a été également employé à l'origine par Dana dans un sens différent; mais, pour un grand nombre d'auteurs, « géosynclinal » et « géanticlinal » impliquaient l'un et l'autre une idée d'équilibre, et contenaient en germe la doctrine de l'isostasie. C'est pourquoi je regrette de m'être servi, au début de cet ouvrage, de l'expression « géosynclinal »; je l'ai évitée depuis.

[2. Voir I, p. 670.]

[3. I, p. 747; III, 2e partie, p. 639.]

[4. III, 2e partie, p. 637 et suiv.]

5. C. S. Middlemiss, *The Geology of Hazára and the Black Mountain* (Mem. Geol. Survey of India, XXVI, 1896, p. 261). [Voir la carte géol. reprod. au t. III du présent ouvrage, 1re partie, p. 371, fig. 61.]

La grande importance des affaissements se manifeste en outre par les *déplacements négatifs* des rivages. Les prétendus mouvements « épirogéniques », qu'une force inconnue produirait, dit-on, à côté des mouvements tectoniques, sont, d'après ma manière de voir, des phénomènes locaux, en rapport avec la structure générale du pays où on les observe, comme le relèvement des dépôts marins néogènes que Diener a signalé dans le champ de fractures du désert de Palmyre[1], ou résultent de modifications dans la forme de l'hydrosphère. Depuis les vastes montagnes tabulaires formées de terrains paléozoïques anciens qui s'étendent entre le Iénissei et la Léna[2], jusqu'aux lambeaux horizontaux de Silurien inférieur éparpillés à la surface du Bouclier Canadien[3], aux plateaux crétacés du Sahara[4] et du Texas[5], au liséré de dépôts néogènes de la Méditerranée et jusqu'aux plages récentes et aux gradins successifs des îles dispersées dans les Océans actuels, on constate des phases négatives d'une telle étendue qu'elles ne peuvent être attribuées qu'à des affaissements du fond de la mer et à la baisse consécutive du rivage, comme le pensait déjà Strabon[6]. Aucune sorte de mouvement tectonique ne peut donner lieu à l'émersion uniforme d'un territoire aussi vaste que le sont les déserts africains.

Plus complexes et plus difficiles à expliquer sont les *Transgressions*[7]. A côté de l'influence positive continue qu'exercent les apports sédimentaires, elles semblent être parfois en relation, difficilement explicable, d'ailleurs, avec la rotation de la Terre; en outre, on peut se demander si certaines modifications tectoniques majeures, comme la surrection graduelle d'une chaîne de montagnes ou un nouvel affaissement, n'ont pas dû réagir sur la position du centre de gravité du Globe et déterminer ainsi, dans les limites du théorème de Clairaut, un changement de forme de l'hydrosphère.

Ce phénomène est bien loin d'être le seul dont la solution doive être laissée à l'avenir. La raison profonde du contraste entre la moitié pacifique et la moitié atlantique du Globe n'est pas connue; provisoirement, on ne peut qu'enregistrer les faits. L'intercalation dans les Basin Ranges et aussi dans les Andes Sud-Américaines de la zone dissociée, au moins en apparence, de la Chaîne Intermédiaire[8] n'est pas expliquée d'une façon tout à fait satisfaisante, et la position des grands

[1. Voir II, p. 507.]
[2. III, 1re partie, p. 24; 3e partie, p. 1068.]
[3. II, p. 40, 41.]
[4. I, chap. V; III, 2e partie, chap. XII.]
[5. III, 2e partie, p. 646-649.]
[6. II, p. 5.]
[7. II, p. 842-849.]
[8. III, 3e partie, p. 1172, 1188, 1256 et 1388.]

fonds le long de la côte occidentale de l'Amérique du Sud[1] n'est pas en harmonie avec l'allure qu'affectent ailleurs ces dépressions. La connaissance de Timor et des îles adjacentes n'est pas encore assez avancée pour permettre un jugement sur les rapports de l'Australie avec le Continent de Gondwana[2]. La structure bilatérale des Calédonides, telle qu'elle ressort des documents actuels[3], est difficile à concilier avec les résultats acquis autre part sur la constitution des chaînes de montagnes. La nature des alignements de Karpinsky[4] est inconnue. Un grand nombre de doutes et de questions sont suspendus au terme de cette tentative imparfaite pour jeter un coup d'œil d'ensemble sur la face de la Terre, comme les fils épars d'un tissu inachevé.

Coup d'œil général (pl. XIII). — Des sommets des Tauern, le regard est captivé par l'horizon du Sud, où les cimes livides des Dolomites émergent des brumes du matin. L'œil s'emplit de la splendeur changeante des neiges, des rochers et des bois, en suivant le jeu des nuées blanchâtres qui s'élèvent du Pusterthal et de la vallée de la Rienz. Le voyageur s'arrache difficilement au charme de ce spectacle.

Les murailles extérieures d'un édifice millénaire sont couvertes de sculptures, et les joints des pierres de taille courent à travers ces ornements. Traçons ainsi des repères dans ce tableau splendide. Les Tauern elles-mêmes deviennent une fenêtre, et les hauteurs sombres qui les séparent des Dolomites représentent le bord d'une nappe, dont le prolongement se trouve à une grande distance vers le Nord, au delà des Tauern ; nous séparons tout à fait les Dolomites des Alpes, et nous les attribuons aux Dinarides, qui viennent de la Dalmatie[5]. Ainsi se séparent le Pamir Oriental du Pamir Occidental[6], le Saïan Oriental du Saïan Occidental[7] et le horst de l'Altaï Mongol du faisceau de plis de l'Altaï Russe[8]. Ainsi se réunissent les Sudètes avec le Harz, la Bretagne avec le Cornwall, avec Terre-Neuve et les Appalaches, les Antilles avec les Andes.

Des unités inattendues se sont constituées ; et maintenant, comme au début de cet ouvrage, le Globe terrestre doit, encore une fois tourner sous nos yeux. —

Disposons d'abord son image de telle sorte que le 105e méridien à

[1. Voir III, 3e partie, p. 1359.]
[2. III, 4e partie, p. 1361 et 1367.]
[3. II, p. 75-96 et 111-131 ; III, 1re partie, p. 512-528 ; 4e partie, p. 1363.]
[4. I, p. 611, fig. 89 ; III, 1re partie, p. 511 ; 2e partie, p. 585.]
[5. Voir la carte, III, 2e partie, pl. VII.]
[6. I, p. 584 ; III, 1re partie, p. 360.]
[7. III, 1re partie, p. 90 et 103-111.]
[8. III, 1re partie, p. 125.]

l'Est de Greenwich, et en même temps l'espace compris entre 130° et 80° de long. E., occupent le milieu du tableau.

Une grande partie de l'édifice asiatique est visible. Au Nord-Est se trouvent les îles de la Nouvelle-Sibérie, avec leurs couches plissées vers le N.E. Des assises tertiaires à empreintes végétales y sont encore redressées[1]. La delta de la Léna recouvre les prolongements mésozoïques plissés de l'arc de Verkhoïansk[2]. Puis l'on atteint le Nord du vaste Continent ancien de l'Angara. Des dépôts cambriens y sont horizontaux; la Léna les met à nu sur une très longue distance. Sur la Khatanga, du gneiss affleure au-dessous de ces assises. Ce territoire ancien s'étend au Sud jusque dans l'amphithéâtre d'Irkoutsk, où il est limité par le bord disposé en fer à cheval, déversé à rebours, de l'ancien faîte du Baïkal[3]. Dans cet espace apparaissent des plis posthumes, également en fer à cheval, de couches à empreintes végétales d'âge jurassique. Sa limite Sud-Est suit de près, à l'Ouest, la rive occidentale du Lac Baïkal; sa limite Sud-Ouest est formée par le Saïan.

Ce faîte en fer à cheval ou en arc de cercle représente la partie la plus interne et la plus ancienne d'un édifice qui se compose de nombreux arcs analogues, convexes vers l'extérieur, lesquels sont recoupés par des lignes disjonctives plus ou moins longitudinales. On voit un deuxième faîte, d'âge probablement dévonien, près de Minoussinsk[4]; un autre, plus récent encore, et édifié après une partie de l'époque carbonifère, occupe l'Altaï[5]. Vers l'Est, des lignes directrices en arc de cercle se succèdent jusqu'à l'Océan Pacifique, des Anadyrides[6] jusqu'aux Philippines[7], et au Sud, en formant une série d'arcs de bordure, jusqu'aux Dinarides. Sur les lignes disjonctives se greffent les volcans, et quand les cordillères sont submergées, des volcans jalonnent les directrices incurvées jusqu'aux Iles Bonin[8] et aux Mariannes[9].

En approchant de la périphérie, on voit la série marine se compléter pas à pas, et des Okhotides[10] jusqu'aux Dinarides, le plissement a probablement duré, sur tout ce parcours, jusqu'au milieu de l'ère tertiaire ou même plus tard encore.

Cette unité de structure est interrompue par deux longs rameaux libres, qui débordent largement sur la périphérie. Ils partent du Sud

[1. Voir III, 3e partie, p. 1113-1114.]
[2. III, 3e partie, p. 1072-1076.]
[3. III, 1re partie, p. 16 et suiv.]
[4. III, 1re partie, p. 103 et 247.]
[5. III, 1re partie, p. 250.]
[6. III, 3e partie, p. 1070-1090.]
[7. III, 4e partie, p. 1393-1395.]
[8. III, 1re partie, p. 187; 4e partie, p. 1402.]
[9. III, 3e partie, p. 1014-1018.]
[10. III, 3e partie, p. 1067.]

de l'Altaï et prennent pour cette raison le nom d'Altaïdes[1]. Les Altaïdes Orientales[2] forment l'arc Birman. Les Altaïdes Occidentales courent en ligne droite vers l'W.N.W., le long du bord septentrional du Pamir et du rebroussement Irano-Taurique, et finissent par atteindre le Caucase, où elles pénètrent en Europe[3].

En tournant le regard vers le Sud-Est, on voit dans l'Australie une terre qui joue peut-être, à l'intérieur des arcs des Océanides, le même rôle que le Continent de l'Angara à l'intérieur des arcs Asiatiques[4]. L'Australie se prolonge au Sud, par l'Ile Auckland et les archipels voisins, vers l'Antarctide[5].

Dans l'Édifice Asiatique, exception faite pour l'avancée des Altaïdes, les arcs successifs sont venus s'ajouter les uns aux autres, avec une grande régularité, depuis les temps précambriens, et le plan primitif s'est ainsi complété jusqu'à une époque récente; peut-être l'Australie et les Océanides nous présentent-elles une répétition du même dessin. Mais, au Sud-Ouest, une disposition toute différente est réalisée dans la Presqu'île de l'Inde[6].

Là, on ne voit pas de traces d'une disposition arquée, et il n'y a pas eu de plissement récent; la série mésozoïque et tertiaire marine n'est représentée qu'avec des lacunes. Des sédiments anciens de nature diverse s'y montrent, il est vrai, plissés, mais ils n'ont encore jamais fourni de restes organiques. On constate seulement que leurs directions sont étrangères à l'Édifice Asiatique et que la presqu'île apparaît de toutes parts comme un fragment.

Tel est l'avant-pays étranger, vers lequel l'arc Birman[7], l'Himalaya[8] et les Iranides[9] se montrent refoulés. —

La planète a continué sa course pendant six heures, de sorte que les régions comprises entre 40° de long. E. et 10° de long. W. environ sont devant nos yeux, le méridien 15° E. occupant le centre du tableau.

C'est l'Europe et presque toute l'Afrique.

Au Spitzberg[10], une trace des Calédonides anté-dévoniennes surgit au milieu des terrains mésozoïques horizontaux, déposés par les transgressions circumpolaires, qui forment en même temps la Terre François-Joseph et les îles environnantes, y compris Beeren Eiland.

[1. Voir III, 1re partie, p. 251.]
[2. III, 1re partie, chap. VI.]
[3. III, 2e partie, chap. X.]
[4. III, 3e partie, chap. XVIII.]
[5. III, 3e partie, p. 1004-1011.]
[6. I, p. 509-528.]
[7. I, p. 592-600; III, 1re partie, p. 275-287; 4e partie, p. 1409.]
[8. I, p. 560-592; III, 1re partie, p. 362-367; 4e partie, p. 1412.]
[9. I, p. 547-556; III, 1re partie, chap. VII; 4e partie, p. 1417.]
[10. II, p. 97-105.]

Jan Mayen et l'Islande sont volcaniques et récentes. Dans la partie tout à fait septentrionale de la Scandinavie s'introduit un prolongement des Ouralides, qui part du Sviatoï Noss [1]. Puis on arrive à la chaîne subméridienne des Calédonides, à laquelle appartiennent tout l'Ouest de la péninsule Scandinave, les Orcades et les Shetlands, l'Irlande jusqu'au cours inférieur du Shannon, le Pays de Galles sauf sa bordure extrême vers le Sud, l'Écosse à l'exception de sa lisière occidentale et l'Angleterre jusqu'au voisinage des Mendip Hills [2].

Les Calédonides séparent le Bouclier Baltique (qui cet attribué ici, de même que les Ouralides, à l'Édifice Asiatique) d'un territoire gneissique peu étendu, occupant principalement les Hébrides Occidentales [3], et qu'on peut considérer, bien qu'avec doute, comme appartenant à la Laurentia.

Là, suivant la ligne Shannon-Mendips, qui se prolonge par le bord septentrional des bassins houillers de la Belgique, on rencontre un autre ordre de choses.

Depuis l'extrême Nord jusqu'à cette ligne, il n'y a pas de plissement qui soit plus récent qu'une partie du Dévonien [4]. A partir de cette limite, des plissements plus jeunes apparaissent; au lieu de l'orientation subméridienne des Calédonides se présente une direction plusvoisine de E.-W. C'est le domaine des Altaïdes Occidentales, pénétrant d'Asie en Europe.

Elles traversent à titre de rameaux du Tien-Chan [5], et avec la direction W.N.W., la Mer Caspienne. Vers le Nord, une branche moins puissante meurt dans le bassin houiller du Donetz [6]; une autre, beaucoup plus vigoureuse, atteint, en passant par le Caucase, le bord Sud du horst d'Azov [7].

A partir de ce point, les plissements font face au Nord, et se séparent des plissements jusqu'alors tournés vers le Sud des arcs asiatiques; en même temps, l'un des arcs de bordure de l'Asie, les Dinarides, acquiert une grande largeur, occupe l'espace qui s'étend jusqu'à Chypre, à la Crète et à la Mer Adriatique, pénètre entre les Alpes et l'Apennin et conserve, par opposition avec les Altaïdes, le regard des plissements asiatiques, dirigé vers le Sud [8].

Les Altaïdes s'étalent, laissent apparaître des branches nouvelles

[1. H. Reusch, *Ein Teil des timanschen Gebirgssystems innerhalb Norwegens* (Geogr. Zeitschr., VI, 1900, p. 391-392, 1 fig. carte).]
[2. Voir II, p. 111-131.]
[3. II, p. 91, 93, 116, 211, etc.]
[4. III, 4e partie, p. 1365.]
[5. I, p. 610-621; III, 2e partie, p. 545.]
[6. III, 2e partie, p. 545.]
[7. III, 2e partie, p. 549.]
[8. III, 1re partie, p. 432-440; 2e partie, p. 772-775.]

et finissent par remplir de ces rameaux l'Europe Méridionale, en entourant du même coup la Méditerranée Occidentale. Leur limite, vers le Midi, passe au Sud du Haut-Atlas et de l'Atlas Méditerranéen [1], puis elle coïncide avec la zone où a lieu la rencontre des Dinarides.

Dans cet espace attribué aux Altaïdes s'élèvent toutefois des montagnes d'âge différent.

Les Altaïdes Occidentales, au sens restreint, comprennent l'arc Varisque et l'arc Armoricain, la Montagne Noire [2], le massif Sardo-Corse [3], la plus grande partie de la Péninsule Ibérique jusqu'au Guadalquivir [4] et le Haut-Atlas [5], puis les Alpes Carniques [6], qui font saillie entre les Alpes et les Dinarides. Leur plissement s'est terminé avant la fin de la période carbonifère, et on peut admettre qu'à l'époque permienne elles étaient déjà devenues rigides, sauf à subir des ondulations sans aucune importance.

Alors survient la résolution en horsts, par une série d'affaissements qui rappellent jusqu'à un certain point les effondrements limités de la Méditerranée; et de ces dépressions, c'est-à-dire du sein des Altaïdes devenues rigides, et en grande partie limité par ces mêmes horsts, surgit un nouvel édifice : les Altaïdes posthumes [7].

Elles se subdivisent, suivant les dépressions où elles ont pris naissance, en groupes distincts. Le plus étendu, de beaucoup, est formé par les Alpides, qui s'étendent des Balkans, par les Carpathes, les Alpes, les Apennins, l'Atlas Méditerranéen et la Cordillère Bétique, jusqu'à Majorque [8]; plissées vers le Nord, comme les Altaïdes, fréquemment déviées par les horsts et contraintes à se plisser vers le Sud dans l'Atlas Méditerranéen [9], elles ne se sont édifiées, en très grande partie, que pendant l'ère tertiaire.

Les plis Provençaux [10], se prolongeant dans la bordure externe des Pyrénées [11] et, par cette chaîne, jusque dans les Monts Cantabres [12], possèdent une autonomie plus complète.

Le Bassin de Paris et de Londres [13] et la dépression de l'Ouest du

[1. Voir III, 2e partie, p. 682-686.]
[2. III, 2e partie, p. 895.]
[3. III, 2e partie, p. 756-760.]
[4. II, p. 198-208.]
[5. III, 2e partie, p. 686-692.]
[6. III, 1re partie, p. 458-461.]
[7. III, 2e partie, chap. XV.]
[8. III, 2e partie, p. 894.]
[9. III, 2e partie, p. 873-886.]
[10. III, 2e partie, p. 894-902.]
[11. III, 2e partie, p. 902-925.]
[12. II, p. 204; III, 2e partie, p. 922.]
[13. I, p. 141-145; III, 2e partie, p. 609-617.]

Portugal [1] présentent des plissements posthumes autonomes, quoique d'une amplitude médiocre.

Une côte à rias très accusée indique dans le Sud-Ouest de l'Irlande et en Bretagne l'ennoyage de l'arc Armoricain. A partir de là, jusque vers l'Ouadi Draa, la côte atlantique appartient aux Altaïdes.

En outre, on doit tenir compte des éléments suivants : la Chaîne Cimmérienne, reste d'un faisceau de plis d'âge mésozoïque formant la Crimée et la Dobrogea, à laquelle appartiennent les bouches du Danube et dont les traces disparaissent sous les grands chevauchements de l'arc Carpathique [2]; — puis les Montagnes de Sandomir en Pologne, qui s'enfoncent dans la profondeur en face du bord des Carpathes : nous les avons regardées, dans cet ouvrage, comme un avant-poste des Sudètes [3], mais il est possible qu'un jour on y voie un bombement de l'avant-pays Russe, provoqué par le voisinage des Sudètes; — enfin le Massif Bohémien [4], fragment d'un système de montagnes très ancien, faisant saillie au milieu de l'arc Varisque et déviant le cours des Alpides.

On constate que les Altaïdes sont devenues rigides avant la fin de la période carbonifère, et que le plissement s'est renouvelé et a persisté dans leurs dépressions. C'est ainsi que les mouvements se sont séparés dans l'espace.

Nous sommes arrivés à une limite dont une section, le bord Sud du Haut-Atlas jusqu'au Djebel Béchar, appartient aux Altaïdes, — une deuxième, du Djebel Béchar à l'Adriatique, aux Alpides, — et une troisième, de l'Adriatique à Diarbékir, à l'arc Dinaro-Taurique. A partir de cette limite vient, en Afrique, sur 65° de latitude environ, un édifice ancien, où il n'y a aucune trace de plissement récent.

Dans le Sahara Occidental s'étendent à partir du Nord, jusqu'au-delà du Niger, les Saharides, dont la direction est voisine de celle du méridien; leur plissement est antérieur au Silurien supérieur [5]; nous devons par suite les regarder comme plus anciennes que les Calédonides, auxquelles elles ressemblent d'ailleurs. A l'Est des Saharides s'étale jusqu'à la Syrie et à l'Arabie le grand Plateau Désertique, d'âge crétacé et tertiaire [6]; le Sud est occupé par des terrains archéens et par

[1. Voir III, 2e partie, p. 536-539.]

[2. I, p. 630 et suiv.; III, 2e partie, p. 569-572. Voir, en outre, Munteanu-Murgoci, *Rapports tectoniques entre l'aire Cimmérienne et les Carpathes méridionales* (C. R. Sommaire Soc. Géol. de France, 1914, p. 131-133).]

[3. I, p. 239 et suiv.]

[4. III, 2e partie, p. 573 et pl. IV.]

[5. III, 2e partie, p. 670-679.]

[6. I, 2e partie, chap. V.]

les dépôts du Karroo [1], à peu près comme dans l'Inde. De longues crevasses pourvues de volcans traversent toute cette région [2]. Madagascar est un fragment de l'antique Continent de Gondwana [3].

Au Sud s'offre un nouveau spectacle. Trois fragments de chaînes plissées s'avancent, de trois côtés à la fois, vers le Karroo. Mais ces montagnes plissées sont devenues rigides dès l'époque permienne [4]; elles sont comme une contre-partie des arcs de bordure asiatiques. Le Cap Agulhas n'est pas aussi éloigné de l'Équateur que la Crète ou l'Ile de Chypre; et si le Nord était submergé dans la même mesure que le Sud, toute l'Europe serait sous les eaux de l'Océan : de sa structure compliquée n'apparaîtrait pas même autant que l'on n'aperçoit, à l'heure actuelle, de l'édifice qui, dans l'hémisphère austral, occupe les bords du Karroo.

De ce que nous venons de voir, retenons ceci : le croisement d'un système antérieur (Calédonides, Saharides) par un système plus récent (Altaïdes), la consolidation et l'affaissement de ce dernier, la naissance de nouvelles chaînes de montagnes, notamment des Alpides, dans ces effondrements, et, au Cap, les fragments d'un grand système de plis, construit suivant le même mode que la périphérie de l'Asie, mais cependant tourné vers le Nord. —

Une fois de plus, le Globe terrestre peut, six heures durant, reprendre sa course. Au lieu du 15e méridien à l'Est de Greenwich, le 75e méridien à l'Ouest occupe le centre du tableau; mais l'obliquité très sensible de l'axe des deux Amériques par rapport à l'Équateur nous contraint à embrasser du regard un secteur plus large : même, le champ compris entre 50° et 130° W. n'est pas absolument suffisant.

Au Nord, nous rencontrons d'abord la Chaîne des États-Unis, qui court en biais à travers la Terre d'Ellesmere [5] : c'est un fragment, dépassant le pôle, de la périphérie asiatique, avec la succession de couches mésozoïques si variées qui la caractérise. Puis l'on atteint, en premier lieu, la lisière horizontale de terrains paléozoïques inférieurs, et enfin l'immense massif cristallin ancien de la Laurentia [6]. Vers le Nord-Est, le Groenland [7] en fait partie; peut-être s'étend-elle à travers toute la largeur de l'Océan Atlantique jusqu'aux Hébrides; au Sud, elle forme jusqu'au Texas le Centre des États-Unis. Dans la Laurentia, comme en Afrique et dans l'Inde, il n'y a aucune trace de plissements

[1. Voir III, 3e partie, p. 994 et suiv.]
[2. III, 3e partie, p. 957-994.]
[3. III, 3e partie, p. 989-991.]
[4. III, 3e partie, p. 995-1001.]
[5. III, 2e partie, p. 927-931.]
[6. II, p. 40-63; III, 4e partie, p. 1362.]
[7. II, p. 105-111; III, 4e partie, p. 1362 et 1525.]

récents, et en même temps les formations mésozoïques marines sont à peu près absentes. Du côté de l'Est, dans l'Ile de Terre-Neuve [1], reparaît la côte à rias qui s'était soustraite à nos regards en Irlande et dans la Bretagne. C'est le prolongement du rameau principal des Altaïdes vers l'Ouest, également immobilisé en Amérique avant l'époque permienne, mais sans effondrements et sans compléments posthumes. On lui donne ici le nom d'Appalaches : cette chaîne enveloppe au Sud-Est et au Sud l'avant-pays de la Laurentia, et s'éteint dans l'Oklahoma [2].

Une chaîne puissante, la chaîne des Montagnes Rocheuses [3], forme la limite occidentale. Le rebroussement qui se produit sous le 146e ou le 147e méridien avec les Alaskides [4], construites tout à fait suivant le type asiatique, atteste que les Montagnes Rocheuses appartiennent, elles aussi, aux prolongements de l'Édifice Asiatique, qui entoure, par conséquent, toute la partie américaine de la Laurentia. Ces montagnes, qui affectent sur de longues distances une allure oblique, en coulisses, sont refoulées vers le Sud contre le butoir des Plateaux du Colorado [5] et meurent à l'Est de ce massif ancien. Leurs plissements ont pris fin après le dépôt du terrain crétacé supérieur. Un autre rameau, la Chaîne du Saint-Élie, part en outre du rebroussement, vers le 147e degré de latitude. De même que les Montagnes Rocheuses, dans les Alaskides, correspondent aux Monts Roumanzov, la Chaîne du Saint-Élie répond à la Chaîne de Kenai et est poussée comme celle-ci vers l'Océan Pacifique ; elle n'est pas devenue immobile, des couches tertiaires s'y montrent plissées ; aujourd'hui encore, des mouvements s'y font sentir [6].

Entre la Chaîne du Saint-Élie et les Montagnes Rocheuses apparaît la « Chaîne Intermédiaire », zone allongée que caractérisent à la fois une série mésozoïque plus complète, des plissements, des lignes disjonctives, des fosses d'effondrement et des volcans [7]. Nous lui attribuons le grand batholite de granodiorite de la Colombie, qui a pour prolongement la Chaîne volcanique des Cascades, puis une longue bande de structure analogue, s'étendant jusque dans les Basin Ranges et jusqu'au bord occidental des Plateaux du Colorado. Cette zone paraît être interrompue dans l'Arizona ; mais les Sierras Mexicaines répètent ses caractères, en même temps qu'elles dévient vers le Sud-Est et

[1. Voir II, p. 50-52.]
[2. II, 2e partie, p. 617-662.]
[3. III, 3e partie, p. 1143-1172.]
[4. III, 3e partie, p. 1090-1135.]
[5. I, p. 770 ; III, 3e partie, p. 1138-1142.]
[6. III, 3e partie, p. 1180-1188.]
[7. III, 3e partie, p. 1172-1179 et 1188-1206.]

qu'elles diminuent de hauteur jusqu'au voisinage immédiat du Golfe du Mexique [1].

Les Chaînes Côtières de Californie représentent la première apparition de la puissante Chaîne des Andes [2]. Disposées en un grand nombre de coulisses obliques, elles courent à travers la Haute-Californie, les Iles Tres Marias et, au Mexique, dans la Sierra Madre del Sur, dont le versant Nord est jalonné par d'énormes volcans [3]. Leur prolongement ultérieur se suit sans interruption par l'Isthme de Tehuantepec vers le Guatemala [4]. Les rameaux deviennent concaves vers le Nord. Tandis que la partie occidentale des Antilles forme une virgation, comprenant la chaîne principale de Cuba, puis la Sierra Maestra et le Nord de Haïti, et enfin la Jamaïque, le Sud de Haïti et Puerto-Rico, on constate qu'au Guatemala les branches concaves vers le Nord s'infléchissent à partir du Golfe Amatique et passent par l'Ile Roatan, dans la direction de la Jamaïque. C'est la première avancée de l'Édifice Andin dans le domaine atlantique [5]. La virgation dont on vient de parler se transforme, dans les Petites Antilles, en un arc unique, qui comprend plusieurs zones successives comme les arcs périphériques de l'Asie, et qui, par l'île Trinidad et le Venezuela, rejoint en Colombie et dans l'Ecuador la Chaîne principale des Andes [6].

Dans l'Amérique du Sud, le Brésil devient un avant-pays [7], jouant le même rôle que la Laurentia dans l'Amérique du Nord. Ici encore, les plis récents manquent et, en même temps, presque toute trace de dépôts mésozoïques marins. Du Carbonifère au Crétacé moyen, on ne connaît que des couches d'origine continentale, caractérisées par des plantes terrestres. Mais, du côté de l'Ouest, des circonstances exceptionnelles se présentent. Le plissement d'une grande partie des Andes, dirigé vers l'Est, affecte cette série sédimentaire de l'avant-pays et les hautes montagnes situées à l'Est du Lac Titicaca, comme l'Illimani et ses acolytes [8]; toute la Cordillera Real et les Andes Argentines sont constituées par ces mêmes couches. C'est seulement à l'Ouest, dans la Cordillera de los Andes, qu'apparaissent des couches mésozoïques marines, occupant une bande longue et étroite, avec lignes disjonctives et effondrements linéaires et avec des volcans géants [9], reproduisant de

[1. Voir III, 3e partie, p. 1232-1256.]
[2. III, 3e partie, p. 1214-1228.]
[3. III, 3e partie, p. 1236 et 1253.]
[4. III, 3e partie, p. 1264-1274.]
[5. III, 3e partie, p. 1285 et suiv.]
[6. III, 3e partie, p. 1293-1299.]
[7. III, 3e partie, p. 1306-1314.]
[8. III, 3e partie, p. 1314. Voir aussi H. Gerth, *Geologische und morphologische Beobachtungen in den Kordilleren Südperus* (Geol. Rundschau, VI, 1915, p. 129-153, pl. II-VII; bibliographie).]
[9. III, 3e partie, p. 1318.]

cette façon les traits principaux de la « Chaîne Intermédiaire » et des Basin Ranges, dans l'Amérique du Nord. Le bord Ouest est formé par une chaîne de montagnes qui a dû jouer le rôle d'un continent durant l'ère mésozoïque, comme l'atteste la présence des couches à empreintes végétales qui recouvrent son flanc oriental[1]. La même superposition se retrouve dans la Sierra Madre del Sur au Mexique, dans les hauteurs du Honduras[2], au Chili et jusque dans les Régions Antarctiques[3]. Plus à l'Ouest encore, on suit dans l'Océan Pacifique une fosse allongée d'une grande profondeur, dont les relations avec les Andes ne sont malheureusement pas encore éclaircies jusqu'à ce jour[4].

On a exprimé l'idée que les branches des Andes, au Sud, tournent vers le Sud-Est et, en s'écartant, atteignent la mer entre le Cap Corrientes et le Cap Horn[5], à peu près comme le font les Sierras Mexicaines. Mais le pays est peu connu, et cette opinion a été combattue. Par contre, il n'y a aucun doute que la Chaîne principale des Andes ne décrive autour du Sud de la Patagonie une courbe qui, du point de vue tectonique, rappelle les chaînes concaves du Guatemala. Plus loin, la disposition des îles permet de reconnaître une seconde avancée de l'Édifice Andin. L'analogie des contours de la Patagonie et de la Terre de Graham, de même que l'arc volcanique des Iles Sandwich du Sud, sont autant d'indices dans ce sens, et tout cet ensemble d'archipels, faute d'un autre nom, peut être désigné sous celui d'Antilles Australes[6].

Une avant-fosse importante existe peut-être au large des Sandwich du Sud, et un avant-pays représentant le Brésil occupe probablement l'Est de la Terre de Graham.

Le territoire que nous venons de considérer, entre la Terre d'Ellesmere et la Terre de Graham, est le seul, sur toute l'étendue du Globe, dont il soit possible d'étudier la structure depuis les champs de glace voisins du pôle Nord jusqu'à la banquise Antarctique. —

Six heures encore peuvent s'écouler, et le 165e méridien, qui longe la côte Ouest de l'Alaska, sur la Mer de Bering, est atteint.

L'arc puissant des Alaskides est construit suivant le type asiatique, et il en représente même l'un des exemples les plus parfaits. Les Monts Roumanzov[7], au Nord, les Monts de l'Alaska avec la cime culminante du Mc Kinley[8], et la Presqu'île d'Alaska avec l'arc volcanique des

[1. Voir III, 3e partie, p. 1314 et suiv.]
[2. III, 3e partie, p. 1234.]
[3. III, 3e partie, p. 1350 et 1358.]
[4. III, 3e partie, p. 1359.]
[5. I, p. 701.]
[6. III, 3e partie, p. 1358.]
[7. III, 3e partie, p. 1095-1102.]
[8. III, 3e partie, p. 1116-1121.]

Aléoutiennes [1] sont les parties les plus importantes de la grande virgation. Mais le Continent de l'Angara n'en représente point l'arrière-pays, ou du moins il n'est pas visible comme tel; la Terre de Bennett [2] est la dernière trace authentique d'un avant-pays.

Un massif s'insérant entre les branches de la virgation, la Presqu'île Seward [3], se prolonge vers l'Asie; et peut-être les Iles de la Nouvelle-Sibérie sont-elles une dernière trace des Monts Roumanzov, qui se montrent plissés à rebours.

Les Alaskides sont un vrai pont, jeté entre l'Asie et l'Amérique, et, comme on l'a vu, nous attribuons les Montagnes Rocheuses et la Chaîne du Saint-Élie à l'Édifice Asiatique.

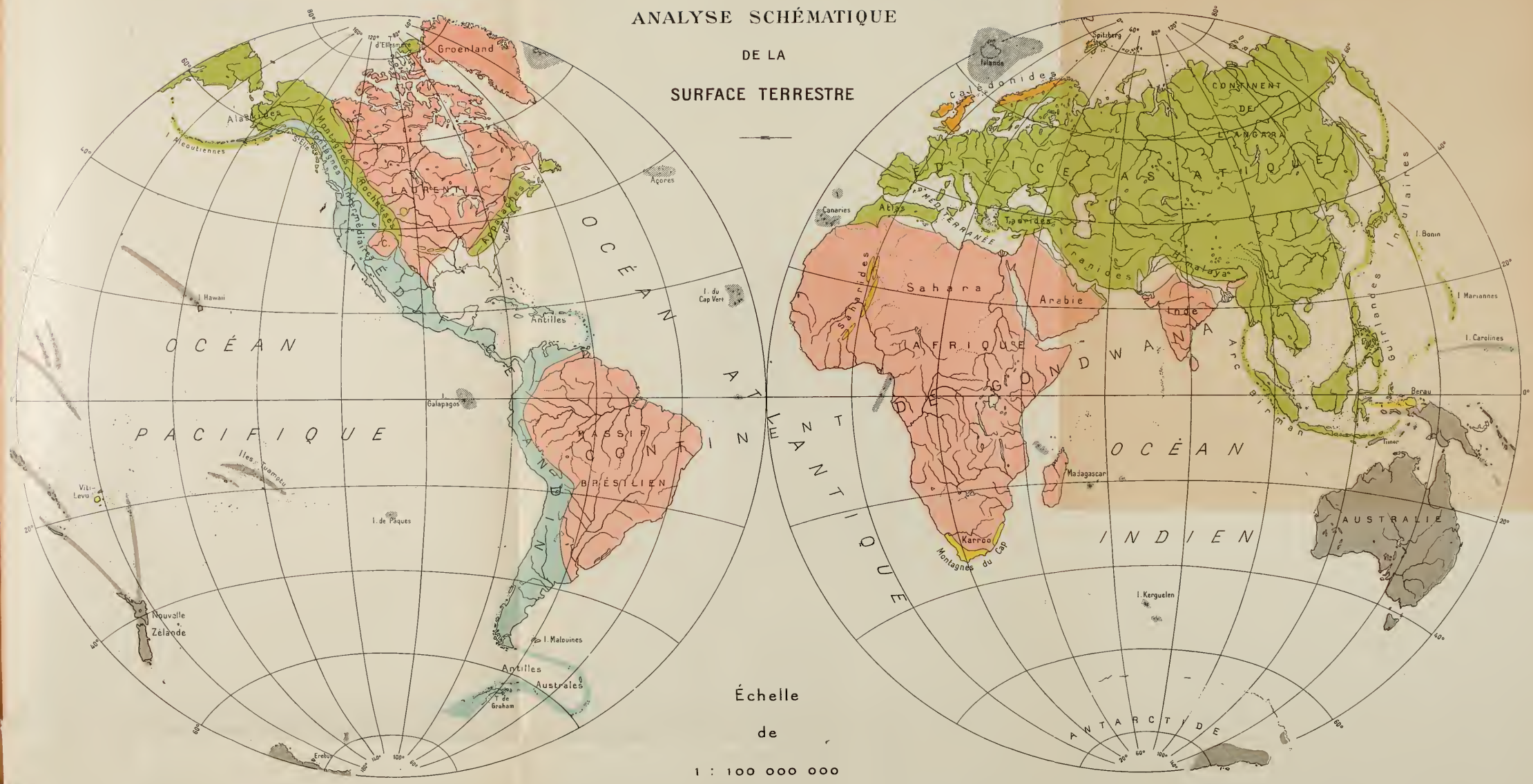
Au Sud de l'arc volcanique et de l'avant-fosse des Aléoutiennes, l'Océan Pacifique s'étend jusqu'à la chaîne, alignée au Sud-Est, des volcans simiques des Iles Hawaii [4]. Que les arcs des Océanides soient des parties de chaînes de montagnes plissées ou des traînées volcaniques qui les accompagnent, c'est ce dont, sauf un petit nombre d'exceptions, il n'est guère permis de douter [5]. La principale de ces exceptions est Viti Levu [6], qui représente peut-être les restes d'un massif autonome non plissé.

Les arcs sont interrompus sur de très grandes distances. Une trace bien faible d'un premier arc est indiquée par l'Atoll Raroia [7] et quelques îlots voisins, qui s'enchaînent sur l'alignement des Iles Tuamotu [8]. Les lignes principales de la partie polynésienne forment les Tuamotu et Tahiti [9]. Dans la partie australienne, on peut reconnaître un premier arc, limité par une avant-fosse très importante, et passant par le Nord-Est de la Nouvelle-Zélande, les Kermadec et les Tonga [10]; un deuxième arc, donnant lieu à une virgation, mais moins continu, comprend les Carolines, les Iles Radak et les Iles Ralik [11]; enfin l'arc principal, commençant au Nord-Ouest de la Nouvelle-Zélande, se suit par la Nouvelle-Calédonie, les Nouvelles-Hébrides, les Iles Salomon et probablement la Nouvelle-Guinée [12].

Le plissement est dirigé de préférence vers le N.E., dans la péri-

[1. Voir III, 3e partie, p. 1121-1132.]
[2. III, 3e partie, p. 1114.]
[3. III, 3e partie, p. 1102-1105.]
[4. Voir III, 3e partie, p. 1056-1059.]
[5. III, 3e partie, chap. XVIII.]
[6. III, 3e partie, p. 1047-1049.]
[7. III, 3e partie, p. 1054.]
[8. III, 3e partie, p. 1053.]
[9. III, 3e partie, p. 1055.]
[10. III, 3e partie, p. 1024-1046.]
[11. III, 3e partie, p. 1046-1049.]
[12. III, 3e partie, p. 1049-1053.]

ANALYSE SCHÉMATIQUE DE LA SURFACE TERRESTRE



Échelle de 1 : 100 000 000

Laurentia et Continent de Gondwana — *Calédonides et Sahariides* — *Édifice Asiatique et Continent de l'Angara* — *Océanides et Australie; Antarctide* — *Édifice Andin et Montagnes Intermédiaires* — *Montagnes du Cap; Berau; Viti Levu* — *Iles Volcaniques du Type Atlantique*

LIBRAIRIE ARMAND COLIN

phérie de l'Asie vers l'E. et le S.E., dans les Alaskides vers le S., dans la Chaîne du Saint-Élie — à en juger du moins par l'agencement des roches — vers le S.W.

Dans le Sud de la Nouvelle-Zélande, dans les îles suivantes vers le Sud et à la Terre de Victoria[1] se font jour des caractères différents, atlantiques.

Après six autres heures, le vaste Édifice Asiatique s'étale pour la seconde fois devant nous. La Terre a achevé sa révolution quotidienne.

[1. Voir III, 3e partie, p. 1004-1011.]

CHAPITRE XXVII

LA VIE[1]

I

Introduction. — Solidarité des êtres vivants. La biosphère. — Origine de la vie; la faune cambrienne n'est pas la plus ancienne. Extinction future des organismes. — Influence du milieu. Évolution de la Lithosphère. — Adaptation rayonnante des faunes. Dépendance mutuelle de certains groupes. — Rôle des migrations; îlots résiduels et Colonies. — Apparition de variétés nouvelles chez les Végétaux.

Carl Rokitansky, l'un des éminents fondateurs de l'anatomie pathologique, au cours des longues années qu'il enseigna dans la grande ville de Vienne, eut entre les mains des milliers de cadavres humains. Il vit passer les générations; il vit comment, en dehors de l'espèce humaine, le même cycle : naissance, nutrition, reproduction, mort, se répétait sous les modalités les plus différentes. Toute vie lui apparut comme un aspect particulier d'un même phénomène total et il put, résumant son expérience, parler non pas de l'unité ou de l'origine commune, mais de la *solidarité* de toute vie[2].

C'est à Lamarck et à Darwin que nous devons d'être arrivés à cette conception. Or, maintenant que la route est frayée, cette vue ne nous apparaît plus comme le résultat final d'une vaste synthèse, mais comme le point de départ commun, physiologique, auquel ces grands savants nous ont ramenés. Elle implique la notion d'une *Biosphère*, qui marque à la vie sa place au-dessus de la Lithosphère, et qui d'ailleurs n'embrasse que la vie sur notre planète, avec les conditions de température, de constitution chimique, etc., qu'elle suppose, et à l'exclusion de toutes spéculations sur les processus vitaux dont d'autres corps célestes peuvent être le siège[3]. De ces

[1. Traduit par Henri Baulig.]

2. C. Rokitansky, *Die Solidarität alles Thierlebens*; Vortrag gehalten in der feierlichen Sitzung der Kaiserl. Akademie der Wissenschaften Wien, 31. Mai 1869 (Almanach der K. Akad. d. Wiss., Wien, XIX, 1869, p. 185-220).

[3. Voir l'étude d'Alph. Berget, *L'apparition de la Vie sur les Mondes et l'hypothèse d'Arrhénius* (Biologica, Paris, II, n° 13, 15 janv. 1912, p. 1-6).]

conditions, il résulte que la biosphère est un phénomène limité non seulement dans l'espace, mais aussi dans le temps.

L'origine de la vie nous est inconnue. La dégénérescence des yeux chez les Trilobites cambriens montre que, si ce sont les êtres les plus anciens que nous connaissions, ce ne sont pas les plus anciens des êtres[1]. Même les Xiphosures de l'étage de Belt, dans l'Amérique du Nord, ne présentent en aucune façon le caractère d'animaux primitifs[2].

Si les circonstances qui ont entouré les commencements de la vie nous sont inconnues, nous ne sommes pas moins ignorants de celles qui en accompagneront un jour, et fatalement, l'extinction. On peut sans doute prévoir certains changements profonds, dus au ralentissement des mouvements planétaires par le fait des marées, en particulier la suppression de la lumière du Soleil pour la moitié de la surface du Globe; mais on verra par ce qui suit que la constitution même de la planète réserve peut-être un danger pour une partie importante des êtres vivants.

La vie s'incarne dans une multitude de formes, qu'il est presque impossible d'embrasser du regard. Qui considérera la grande extension et l'uniformité de la faune des eaux douces sur le continent dévonien de l'Eria, ou bien des flores carbonifères, ou encore de la faune et de la

[1. Voir le t. II du présent ouvrage, p. 351. — Sur l'apparition soudaine de la faune cambrienne, voir la série de notes présentées au Congrès Géologique de Stockholm (XIe Congrès Géol. Internat., 1910, I, p. 491-560), en particulier : J. W. Evans, *The sudden appearance of the Cambrian Fauna* (p. 543-546); G. F. Matthew, même titre (p. 547-559). Consulter en outre Charles D. Walcott : *Evolution of Early Paleozoic Faunas in relation to their Environment* (Journ. of Geol., XVII, 1909, p. 193-202); *Abrupt Appearance of the Cambrian Fauna on the North American Continent* (Smithsonian Miscell. Coll., LVII, n° 1, 1910, 16 p., 1 pl. carte); G. Steinmann, *Die Bedeutung der neueren Forschungen über die kambrische Tierwelt* (Geol. Rundschau, III, 1912, p. 678-584, 5 fig.). — Sur les découvertes capitales de C. D. Walcott dans le Cambrien des Montagnes Rocheuses Canadiennes, voir ci-dessus, III, 3e partie, p. 1164, note 1, et surtout le grand ouvrage, en cours de publication, du même auteur : *Cambrian Geology and Paleontology*, I, II, III. In-8°, Washington, 1910-1916. Voir aussi sa belle monographie : *Cambrian Brachiopoda*, 2 vol. in-4° : part I, 872 p., 76 fig.; part II, 104 pl., 363 p., Washington, 1912 (U. S. Geol. Survey, Monograph LI; bibliographie).]

[2. Voir les travaux de C. D. Walcott : *Pre-Cambrian Fossiliferous Formations* (Bull. Geol. Soc. of America, X, 1899, p. 199-244 7 fig., pl. 22-28); *Sur les formations pré-cambriennes fossilifères* (Congrès Géol. Internat., C. R. VIIIe Sess. en France, 1900, I, p. 299-312); *Algonkian Formations of Northwestern Montana* (Bull. Geol. Soc. of America, XVII, 1906, p. 1-28, pl. 1-11, dont 1 carte); *Notes on Fossils from Limestone of Steeprock Series, Ontario, Canada* (Canada, Geol. Survey, Mem. n° 28, p. 16-23, pl. I, II, Ottawa, 1912) : décrit 2 espèces du genre nouveau *Atikokania*, organisme voisin des Spongiaires et peut-être des *Archaeocyathinae*. — Voir aussi L. Cayeux, *Les preuves de l'existence d'organismes dans le terrain précambrien. Première note sur les Radiolaires pré-cambriens* (Bull. Soc. Geol. de France, 3e sér., XXII, 1894, p. 197-228, pl. XI) : formes découvertes dans les phtanites de Lamballe, Côtes-du-Nord; *Existence de restes organiques dans les roches ferrugineuses associées aux minerais de fer huroniens des États-Unis* (C. R. Acad. Sc., Paris, CLIII, 1911, 2e sem., p. 910-912); *Comparaison entre les minerais de fer huroniens des États-Unis et les minerais de fer oolithique de France* (Ibid., p. 1188-1190). L'auteur conclut à la présence de vestiges d'Échinodermes dans le terrain huronien des bords du Lac Supérieur.]

flore terrestres à l'époque du Gondwana[1], admettra volontiers que la vie s'est diversifiée au cours des âges. Les influences physiques n'ont peut-être pas changé, mais leurs effets se sont additionnés. Dès les temps anciens, il y a eu des époques glaciaires[2], et l'on trouve, même dans les régions arctiques, des indices d'époques chaudes qui remontent jusqu'aux temps primaires[3]. La mer des couches coralliennes de Gosau

[1. R. Zeiller, *Les provinces botaniques de la fin des temps primaires* (Revue générale des Sc., VIII, 1897, p. 5-11); E. A. Newell Arber, *Catalogue of the Fossil Plants of the Glossopteris Flora in the Department of Geology, British Museum (Natural History), being a Monograph of the Permo-Carboniferous Flora of India and the Southern Hemisphere.* In-8°, LXXIV-255 p., pl. I-VIII, 51 fig. 1 carte, London, 1905 (bibliographie, p. 227-243); D. White, *The Upper Paleozvic Floras, thier Succession and Range* (Journ. of Geol., XVII, 1909, p. 320-341, 2 fig. : cartes).]

[2. On trouvera un historique détaillé de cette question, avec bibliographie, dans Ch. Schuchert, *Climates of Geologic Time* (art. formant le chap. XXI de l'ouvrage : *The Climatic Factor as illustruted in Arid America.* Carnegie Institution of Washington, Publication n° 192. In-4°, Washington, 1913), p. 263-298, fig. 87-90 : cartes des glaciations pléistocène, permienne et « protérozoïque ». — Voir aussi A. Penck, *Die Eiszeiten Australiens* (Zeitschr. Gesellsch. f. Erdkunde, Berlin, XXXV, 1900, p. 239-286, pl. 9 : carte); E. H. L. Schwarz, *The Three Palaeozoic Ice-Ages of South Africa* (Journ. of Geol., Chicago, XIV, 1906, p. 683-691, 2 fig.); T. W. E. David, *Conditions of Climate at Different Geological Epochs, with Special reference to Glacial Epochs* (Congrès Géol. Internat., C. R. Xe Sess., Mexico, 1906, I, p. 437-482, 9 pl. A-I); A. P. Coleman, *Glacial Periods and their Bearing on Geological Theories* (Bull. Geol. Soc. of America, XIX, 1908, p. 347-366); W. Howchin, *Australian Glaciations* (Journ. of Geol., XX, 1912, p. 193-227, 7 fig.; bibliographie); — sur les glaciations précambriennes : A. P. Coleman, *The Lower Huronian Ice Age* (Journ. of Geol., XVI, 1908, p. 149-158, 5 fig.; Congrès Géol. Internat., C. R. XIe Sess., Stockholm, 1910, II, p. 1069-1072, pl. I); — sur les glaciations paléozoïques : T. W. E. David, *Glaciation in Lower Cambrian, possibly in Pre-Cambrian Time* (Congrès Géol. Internat., C. R. Xe Sess., Mexico, 1906, I, p. 171-274); Bailey Willis and Eliot Blackwelder, *Research in China* (Carnegie Institution of Washington, Publication n° 54), I, part 1, 1907, p. 264-269, pl. XXXVII, XXXVIII (fig. reprod. dans le *Traité de Géologie* d'Ém. Haug, II, fasc. 1, Paris [1909], pl. LXXVII, face à la p. 616), et part 2, 1907, p. 39-40; — sur la glaciation permo-carbonifère : T. W. Edgeworth David, *Evidences of Glacial Action in Australia in Permo-Carboniferous Time* (Quart. Journ. Geol. Soc. London, LII, 1896, p. 289-301, pl. XII); W. M. Davis, *Observations in South Africa* (Bull. Geol. Soc. of America, XVII, 1906, p. 377-450, fig. 1-11, pl. 47-54); E. Koken, *Indisches Perm und die permische Eiszeit* (Neues Jahrb. f. Min., Festband, 1907, p. 446-546, 1 pl. carte); D. White, *Permo-Carboniferous Climatic Changes in South America* (Journ. of Geol., XV, 1907, p. 615-633, 1 fig. : carte); J. B. Woodworth, *Geological Expedition to Brazil and Chile, 1908-1909* (Bull. Mus. Comparat. Zool. Harvard College, LVI, no. 1 (Geol. Ser., X), 1912, p. 52-91 : « Permian Glacial Deposits of South Brazil »); — sur la glaciation triasique : S. H. Ball and M. K. Shaler, *A Central African Glacier of Triassic Age* (Journ. of Geol., XVIII, 1910, p. 681-701, 4 fig.); G. Passau, *Note sur les dépôts triasiques d'origine glaciaire dans la Province Orientale, Congo Belge* (Annales Soc. Géol. de Belgique, XXIX, Annexe 1911-1912, p. 152-164); — sur la glaciation éocène : W. W. Atwood, *Eocene Glacial Deposits in Southwestern Colorado* (U. S. Geol. Survey, Prof. Paper 95-B. In-4°, p. 13-28, fig. 2-11, pl. I-IV, Washington, 1915).]

[3. Cte de Saporta, *Le monde des Plantes avant l'apparition de l'Homme.* In-8°, Paris, 1879, chap. III; M. Semper, *Das Klimaproblem der Vorzeit* (Geol. Rundschau, Leipzig, I, 1910, p. 57-80; bibliogr.); A. G. Nathorst, *Sur la valeur des flores fossiles des régions arctiques comme preuve des climats géologiques* (XIe Congrès Géol. Internat., Stockholm, 1910, I, p. 743-756, 4 fig., cartes; bibliographie). — Pour des observations analogues, relatives aux régions voisines du pôle austral, voir A. G. Nathorst, *Sur la flore fossile des régions antarctiques* (C. R. Acad. Sc., Paris, CXXXVIII, 1904, 1er sem., p. 1447-1450), et *On the Upper Jurassic Flora of Hope Bay, Graham Land* (Congrès Géol. Internat., Xe Sess., Mexico, 1906, II, p. 1269-1270); T. G. Halle, *The Mesozoic Flora of Graham Land* (Wiss. Ergebnisse der Schwed. Südpolar Exped., 1901-1903, III, 14. Lief.). In-4°, 123 p., 9 pl. Stockholm, 1913.]

était plus chaude que celle, contemporaine, de la Craie dans l'Allemagne du Nord, et la mer corallienne de Castel Gomberto était plus chaude que celle des sables de Weinheim et de Fontainebleau. Chaque nouvelle phase climatique a été accompagnée d'une faune et d'une flore plus modifiées, en général plus spécialisées. Il n'en va pas autrement pour la Face de la Terre elle-même : sa configuration actuelle, avec le dessin des continents, les montagnes et les vallées, les lacs et les fleuves, les abîmes des mers, n'est également que le résultat d'une somme d'événements divers accumulés.

Dès qu'on essaie de considérer en même temps la biosphère et la lithosphère, on s'aperçoit que l'Ile de la Trinité, par exemple, ne possède, en fait de Poissons d'eau douce, que des espèces sud-américaines; on constate aussi que des îles séparées de la terre ferme par des profondeurs de plusieurs milliers de mètres peuvent cependant avoir en commun avec le continent voisin de nombreuses espèces d'animaux terrestres ou d'eau douce [1]. Ces îles ne peuvent avoir émergé de la mer : les fonds qui les isolent doivent nécessairement s'être formés par affaissement. Les îles qui possèdent une faune et une flore continentales sont donc des horsts, et cette raison seule suffit à faire rejeter l'idée, soutenue par Wallace, de la permanence des bassins océaniques.

L'influence des circonstances extérieures se manifeste clairement dans le fait que la faune marine, la faune terrestre et la faune d'eau douce sont loin de se modifier toujours simultanément. Il arrive même que, par exemple dans le Crétacé moyen des États-Unis, les arbres à feuilles actuels apparaissent et se développent rapidement, tandis que la flore ancienne s'éteint [2], et que cependant les types anciens de Reptiles herbivores n'en persistent pas moins jusqu'à la fin de la période crétacée.

Richard Owen a remarqué depuis longtemps que si aux Marsupiaux australiens actuels on ajoute leurs ancêtres les plus récemment disparus, l'ensemble ainsi formé comprend des types carnivores, herbivores, insectivores, rongeurs, etc., à peu près comme les grandes faunes ter-

[1. Voir l'ouvrage de A. R. Wallace, *Island Life, or, the Phenomena and Causes of Insular Faunas and Floras....* In-8°, XVII-526 p., 26 fig. London, 1880; et R. F. Scharff, *Distribution and Origin of Life in America.* In-8°, XVI-497 p., 21 pl. : cartes, London, 1911.]

[2. F. H. Knowlton, *Succession and Range of Mesozoic and Tertiary Floras* (Journ. of Geol., XVIII, 1910, p. 105-116, 1 fig. : carte); E. W. Berry, *The Lower Cretaceous Floras of the World* (Maryland Geol. Survey, Lower Cretaceous. In-8°, Baltimore, 1911, p. 99-151, 1 fig. : carte), et *Correlation of the Potomac Formations* (Ibid., p. 153-172). — La présence d'Angiospermes dans le terrain Crétacé inférieur, signalée dès 1894, en Portugal, par G. de Saporta, a été confirmée récemment, en Angleterre, par Marie C. Stopes (*Petrifications of the Earliest European Angiosperms*; Phil. Trans. Royal Soc., London, Ser. B, CCIII, 1912, p. 75-100, pl. 6-8).]

restres de l'Eurasie. On a même essayé d'établir qu'il en avait été de même pour les faunes reptiliennes des temps mésozoïques. Osborn a qualifié ce phénomène de loi d' « adaptation rayonnante » (*adaptive radiation*), et cité à l'appui la faune la plus ancienne de Mammifères tertiaires, celle de Puerco dans le Nouveau-Mexique[1].

Que les grandes unités vivantes soient soumises à des nécessités économiques, qu'un certain nombre de Carnassiers implique un certain nombre d'Herbivores, et ceux-ci une quantité suffisante de plantes fourragères; que les Insectivores impliquent l'existence des Insectes, que des Insectes déterminés soient tributaires de Plantes déterminées, comme certaines Plantes dépendent des Insectes; que les coprophages, les parasites de toute espèce, etc., aient leurs conditions de vie particulière, c'est ce qui n'appelle pas d'explication. Il est tout aussi évident que ce qui compte, par exemple, dans le rapport des Herbivores aux Carnassiers, ce n'est pas le nombre des espèces, mais celui des individus et leur manière d'être. Il est plus surprenant de constater, quand on suit l'histoire des faunes tertiaires, qu'il n'y a pas toujours eu, tant s'en faut, modification continue des différentes espèces, comme on pourrait s'y attendre dans l'hypothèse de la sélection naturelle agissant librement pendant un long espace de temps, mais qu'au contraire, en particulier en Europe, à l'époque miocène, on voit apparaître successivement sur la scène des faunes tout à fait nouvelles, qui constituent en même temps des ensembles économiques. C'est ce fait, signalé par un grand nombre d'observateurs, qui a conduit à l'hypothèse de grandes migrations[2]; et, à ce sujet, on peut citer dès maintenant les travaux approfondis de Lydekker et de Depéret[3].

Cela n'exclut point, d'ailleurs, l'existence d'îlots résiduels qui persistent à l'état sporadique, ni de colonies transportées par les courants atmosphériques ou marins, par exemple dans les îles océaniques. C'est pourquoi Baur a distingué des îles continentales à faune et flore « harmoniques » et des îles océaniques à faune et flore « désharmoniques ». Hedley a essayé de discerner la limite des unes et des autres dans l'Océan Pacifique[4].

1. H. F. Osborn, *The Law of Adaptive Radiation* (The American Naturalist, XXXVI, 1902, p. 353-363) [et *The Age of Mammals in Europe, Asia, and North America*. In-8°, xx-635 p., 220 fig., New York, 1910, p. 22 et suiv. (renferme, p. 564-604, une copieuse bibliographie).]

[2. Hypothèse formulée très nettement, dès 1873, par Albert Gaudry, dans l'ouvrage : *Animaux fossiles du Mont Léberon. Étude sur les Vertébrés*. In-4°, Paris, p. 87-90.]

3. R. Lydekker, *A Geographical History of Mammals*. In-8°, 400 p., Cambridge, 1896; Ch. Depéret, *Les transformations du Monde animal*. In-8°, 360 p., Paris, 1907 (Bibliothèque de Philosophie scientifique); et surtout les notes du même auteur dans les C. R. Acad. Sc. : *L'évolution des Mammifères tertiaires, méthodes et principes* (CXL, 1905, 1er sem., p. 1517-1521); *L'évolution des Mammifères tertiaires, importance des migrations* (CXLI, 1905, 2e sem., p. 702-705; CXLII, 1906, 1er sem., p. 618-629; CXLIII, 1906, 2e sem., p. 1120-1123).

4. G. Baur, *On the Origin of the Galápagos Islands* (The American Naturalist, XXV, 1891,

Dans les pages qui suivent, on montrera, par quelques exemples notables, et suivant un plan simplement chorographique, comment la vie s'adapte à la configuration de la Face de la Terre. Toutefois, nous connaissons encore si mal les conditions de vie des animaux marins et la nature des frontières qui séparent leurs aires de distribution, qu'il ne pourra guère être question ici que des habitants des terres et des eaux douces.

L'exemple le plus simple de ce genre d'adaptation nous est fourni par les Végétaux. Hooker a avancé déjà, dans sa célèbre Introduction à la Flore de la Tasmanie, que les variétés se produisaient de préférence à la limite des aires d'extension[1]. Lundström tient pour vraisemblable qu'il se forme encore aujourd'hui des espèces nouvelles à la limite septentrionale des Saules dans la Novaïa Zemlia[2]. A cette question se rattachent les travaux de Wettstein, d'Engler, etc., sur la colonisation des hauts sommets[3], ainsi que les recherches si instructives sur le développement graduel du manteau végétal en Scandinavie dues à Jap. Steenstrup, Andersson, Nathorst, Blytt, etc., recherches qui ont mis en évidence l'apparition de variétés post-glaciaires[4]. Dans tous ces

p. 217-228 et 307-326); le même, *New Observations on the Origin of the Galápagos, with Remarks on the Geological Age of the Pacific Ocean* (Ibid., XXXI, 1897, p. 661-680 et 864-896); Ch. Hedley, *A Zoogeographic Scheme for the Mid-Pacific* (Proc. Linnæan Soc. New South Wales, XXIV, 1899, p. 391-417 : en particulier p. 393).

1. J. D. Hooker, *Introductory Essay to the Flora of Tasmania* (The Botany of the Antarctic Voyage of H. M. Discovery Ships *Erebus* and *Terror* in the years 1839-1843, under the Command of Captain Sir James Clark Ross. Part III. *Flora Tasmaniensis*, vol. I. *Dicotyledons*). In-4°, CXXVIII p., London, 1860.

2. Axel N. Lundström, *Kritische Bemerkungen über die Weiden Nowaja Semljas und ihren genetischen Zusammenhang* (Nova Acta Regiae Socieiatis Scientiarum Upsaliensis, 1877 (Volumen extra ordinem editum, in memoriam quatuor Saeculorum ab Universitate Upsaliensi peractorum edita), p. 25 : « es ist viel wahrscheinlicher, ... dass dort, wie v. Baer sagt — obgleich in etwas anderem Sinne — die Schöpfung noch fortgeht ».

3. C'est pour ce motif que l'on a renoncé à invoquer ici, comme preuves d'une migration lointaine, les flores de haute montagne du Kilimandjaro, du Cameroun, etc., et aussi du Kinibalu à Bornéo. [Voir, pour les espèces animales, le précieux catalogue de K. Holdhaus, *Kritisches Verzeichnis der boreo-alpinen Tierformen (Glazialrelikte) der mittel- und südeuropäischen Hochgebirge* (Annalen K. K. Naturhist. Hofmus., Wien, XXVI, 1912, p. 399-440).]

[4. Sur l'histoire de la conquête progressive du sol scandinave par la végétation actuelle après l'époque glaciaire, voir, dans l'ouvrage collectif publié à l'occasion du Congrès Géologique International de Stockholm (11e session) en 1910 : *Die Veränderungen des Klimas seit dem Maximum der letzten Eiszeit* (in-8°), les mémoires suivants : Gunnar Andersson, *Das spätquartäre Klima, eine zusammenfassende Übersicht* (p. XIII-LVI); H. Lindberg, *Phytopaläontologische Beobachtungen als Belege für postglaziale Klimaschwankungen in Finnland* (p. 177-194); R. Sernander, *Die schwedischen Torfmoore als Zeugen postglazialer Klimaschwankungen* (p. 197-246, pl. 1, 2); Gunnar Andersson, *Swedish Climate in the late-quaternary Period* (p. 247-294, pl. 1, 2); articles suivis d'un copieux index bibliographique (p. 295-301); V. Nordmann, *Post-Glacial Climatic Changes in Denmark* (p. 313-328; bibliographie); Jens Holmboe, *On the Evidence furnished by the Peat-Bogs of Norway on Post-glacial Changes of Climate* (p. 335-338). — Consulter en outre : Gunnar Andersson, *Die Geschichte der Vegetation Schwedens* (Botanische Jahrbücher f. Systematik, Leipzig, XXII, 1897, p. 433-550, 13 fig., pl. V : carte), et *Die Entwicklungsgeschichte der skandinavischen Flora* (Résultats Scientifiques du Congrès Internat. de Bota-

exemples, l'avant-garde conquérante se compose des variétés les plus résistantes. Le retour possible, à une époque récente, d'un climat plus rigoureux, peut avoir fait disparaître la plante-mère, tandis que les variétés subsistent comme espèces autonomes.

Passons maintenant à des exemples plus complexes. Nous considérerons d'abord la vie sur une plage normale, à l'état de repos pour ainsi dire, puis sur une plage affectée par un mouvement négatif, en voie de rétrécissement (Mer Caspienne), et enfin sur une plage submergée et recevant des alluvions de la terre ferme (apparition des animaux placentaires).

II

La Plage. — Limite de pénétration des rayons solaires. Ancienneté prétendue de la faune des grands fonds. Polymorphisme des Mollusques; histoire des Unios et des Trigonies. — Le mouvement terripète chez les Poissons. Évolution du poumon. Modifications subies par l'appareil auditif. Œil pariétal des Reptiles fossiles et du *Sphenodon*; la lutte contre l'obscurité chez les animaux marins : atrophie de l'œil, hypertrophie, organes phosphorescents.

La Plage. — Chun place à — 400 mètres la limite de pénétration des rayons solaires [1]. Cette zone, épaisse de 400 mètres [2], avec ses alternances complexes d'insolation, de tempêtes et de marées, affectée d'ailleurs comme nulle autre partie de la Terre par les déplacements du rivage, se révèle à beaucoup de signes comme la région à partir de laquelle s'est fait le peuplement actuel du Globe. C'est de là que les êtres vivants sont partis pour s'élever vers le Soleil ou pour s'enfoncer dans les abîmes; il est arrivé aussi que des habitants de la terre sont retournés à la mer.

Alors que la migration vers la terre ferme était admise par tous les naturalistes, — Bronn la désignait, dès 1860, sous le nom de « mouvement terripète », — on a cru pendant longtemps que des formes

nique, Vienne, 1905. Gr. in-8°, Jena, 1906, p. 45-97, 30 fig.); Eug. Warming, *Den danske Planteverdens efter Istiden. En kortfattet Overblik* (Indbydelseskrift til Kjöbenhavns Universitets Aarsfest til Erindring om Kirkens Reformation). In-8°, 111 p., Kjöbenhavn, 1904; bibliogr.]

[1. C. Chun, *Aus den Tiefen des Weltmeeres.* In-8°, VII-549 p., nombr. fig., 46 pl., 2 cartes, Jena, 1900.]

[2. Il résulte des recherches récentes faites par J. Hjort à bord du « *Michael Sars* » que les rayons lumineux pénètrent, en réalité, jusqu'à des profondeurs beaucoup plus grandes. « Si, à 500 mètres, il n'y a plus, depuis longtemps, de radiations rouges, il y en a encore assez de bleues et de violettes pour impressionner des plaques très sensibles, et à 1 000 mètres, il y a encore des radiations ultra-violettes qui agissent de même » (L. Joubin, *La Vie dans les Océans.* In-12, Paris, 1912, p. 104). Voir aussi l'ouvrage de Sir John Murray and J. Hjort, *The Depths of the Ocean. A general Account of the Modern Science of Oceanography based largely on the Scientific Researches of the Norvegian Steamer Michael Sars in the North Atlantic.* In-8°, XX-821 p., 575 fig., 15 pl. dont 4 cartes, London, 1912 (particulièrement p. 248-253); et Klaus Greim, *Untersuchungen über die Absorption des Lichts im Seewasser* (Annales Inst. Océanogr. Paris, V, n° 6, 1913. In-4°, 23 p., 5 fig.; VI, n° 6, 1914, 21 p., 8 fig.).]

primitives s'étaient conservées dans les régions tranquilles des grands fonds marins. Cette opinion a été combattue par Neumayr, pour des raisons tirées surtout de l'étude des Échinides, et Smith Woodward a déclaré ensuite que, d'après les documents que nous fournit la Paléontologie, la migration des Poissons du rivage vers les profondeurs et l'existence de Poissons des grands fonds ne dateraient, en somme, que de l'époque crétacée[1].

Le polymorphisme des coquilles de Mollusques dans les eaux de composition variable est un fait bien connu. Bon nombre de genres, tels que *Arca*, *Siliqua*, *Cardium*, pénètrent dans les eaux peu salées, voire même dans les eaux presque douces. C'est le genre *Trigonia* qui

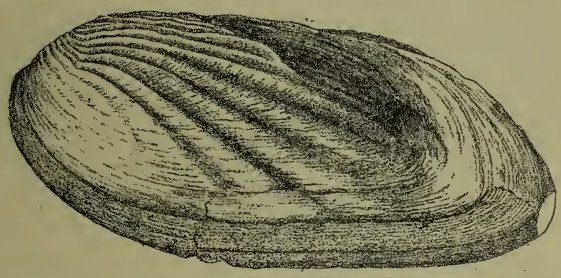


Fig. 406. — *Unio belliplicatus*, Meek, des couches crétacées de Bear River (Etats-Unis), d'après C. A. White (*A Review of the Non-Marine Fossil Mollusca of North America*; 3d Ann. Rept. U. S. Geol. Survey, 1881-'82, p. 498, pl. 6, fig. 2). — Grandeur naturelle.

présente les variations les plus curieuses. Il existe dans certaines rivières de l'Amérique du Nord, de l'Amérique du Sud et de la Chine, des Unios à coquille ornée, dont la décoration présente tous les passages à celle des Trigonies. Il y a longtemps que Lamarck a signalé l'affinité des deux genres, et Neumayr a soutenu que les Unios descendaient des Trigonies. C. A. White a montré que des Unios à coquille ornée existent déjà dans les couches crétacées saumâtres de Laramie (fig. 406), et que les espèces actuelles du Mississipi en sont les descendantes directes. Il faut donc bien admettre que des Trigonies, ayant remonté les rivières, sont devenues des Unios, et l'on doit conclure avec

1. H. G. Bronn, *Stufengang des organischen Lebens von den Insel-Felsen des Oceans bis auf die Festländer*. Festrede. In-8°, 31 p., Stuttgart, 1869; M. Neumayr, *Ueber den alterthümlichen Charakter der Tiefseefauna* (Neues Jahrb. f. Min., 1882, I, p. 123-131); A. Smith Woodward, *The Antiquity of the Deep-Sea Fish-Fauna* (Natural Science, XII, 1898, p. 257-260, pl. X). [— Pour un exposé de nos connaissances sur la constitution des faunes abyssales actuelles, voir L. Joubin, *La Vie dans les Océans*. In-12, Paris, 1912, chap. IX, p. 195-240; voir aussi E.-L. Bouvier, *La faune bathypélagique et la faune des grands fonds* (Revue générale des Sc., XVII, 1906, p. 491-500, 27 fig.); Eric Zugmayer, *Poissons provenant des Campagnes du Yacht Princesse-Alice* (*1901-1910*). In-4°, 174 p., 10 pl. Monaco, 1911 (Résultats des campagnes scientifiques, Albert Ier, Prince de Monaco, fasc. XXXV; bibliographie); Doflein, *Neue Forschungen über die Biologie der Tiefsee* (Meereskunde, Berlin, VII, 1913, n° 12. In-8°, 24 p., 8 fig.).]

Steinmann que l'existence d'Unios à coquille ornée, comme on en rencontre dans le Tertiaire récent de l'Europe Méridionale et jusqu'à Omsk en Sibérie, ne prouve point que les rivières où elles ont vécu aient jamais communiqué entre elles[1].

La pénétration des Poissons dans les rivières se fait, comme on sait, en un grand nombre d'étapes distinctes. A côté des espèces purement marines, il y en a qui vont frayer dans les rivières; mais il y a aussi

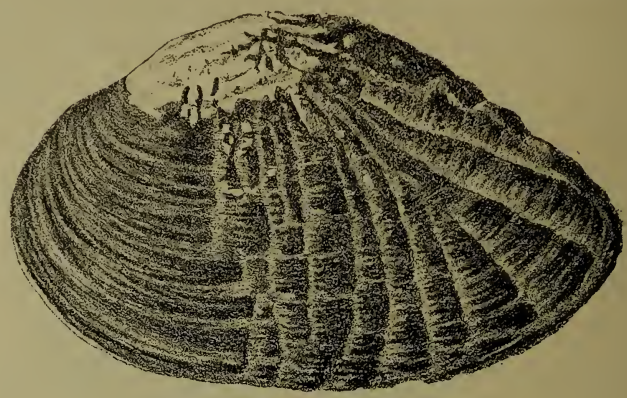


Fig. 407. — *Unio* (*Quadrula*) *Mansuyi*, Dautz. et H. Fischer. Espèce vivante de la région de Cao-Bang (Indo-Chine), d'après Ph. Dautzenberg et H. Fischer (*Journal de Conchyliologie*, LVI, 1908, pl. VIII, fig. 5). — 4/5 de grandeur naturelle.

des Poissons d'eau douce qui retournent à la mer pour déposer leur frai; il y en a d'autres qui vivent dans les rivières, mais dont les plus proches parents vivent dans l'eau salée; il y a ensuite les Poissons

1. M. Neumayr, *Ueber die Herkunft der Unioniden* (Sitzungsber. K. Akad. Wiss. Wien, Mathem.-Naturw. Cl., XCVIII, 1889, Abth. I, p. 5-27, pl. I-III); G. Steinmann, *Die geologischen Grundlagen der Abstammungslehre*. In-8°, Leipzig, 1908, p. 99-119; pour l'Amérique du Nord, voir surtout C. A. White, *A Review of the Non-marine Fossil Mollusca of North America* (3d Ann. Rept. U. S. Geol. Survey, 1881-'82, p. 403-550, pl. 1-32). — D'après une ancienne indication donnée par J. Lycett (*A Monograph of the British Fossil Trigoniæ*; Palæontogr. Soc., 1872-1879, p. 233), il semblerait que, dans l'eau saumâtre, quand la couverture épidermique prend un grand développement, les ornements d'une espèce vivante, *Trigonia uniophora*, disparaissent. On peut en même temps renvoyer, par exemple, à *Unio Letsoni* des couches de Laramie du Montana (R. P. Whitfield, *Remarks on and Descriptions of New Fossil Unionidae from the Laramie Clays of Montana*; Bull. Amer. Museum Nat. Hist., New York, XXIII, 1907, p. 623 628, pl. XXXVIII-XLII) et aux Unionides très fortement plissées du Baloutchistan (W. T. Blanford, *Description of Freshwater Shells from Lower Siwalik Beds of the Bugti Hills*; Mem. Geol. Survey of India, XX, part 2, 1883, p. 236-240, pl. I-III); pour les Paludines qui accompagnent ces Unionides en Slavonie et leur variabilité, voir ce que dit Mansuy sur leur présence au Yun-nan et dans le Nord du Kouang-si : *Mission géologique et minière du Yunnan méridional. III. Résultats paléontologiques* (Annales des Mines, 10e sér., XI, 1907, p. 468-471). [Voir aussi Ph. Dautzenberg et H. Fischer, *Liste des Mollusques récoltés par M. H. Mansuy en Indo-Chine et au Yunnan, et Description d'espèces nouvelles* (Journal de Conchyliologie, LIII, 1905, p. 343-371, pl. VI; LVI, 1908, p. 169-217, pl. VIII). L'une des formes décrites dans ce mémoire, remarquable par la présence de côtes et de sillons, est représentée ci-dessus (fig. 407).]

d'eau douce proprement dits, et enfin quelques formes archaïques, localisées dans les marais fluviaux, qui, comme le genre *Polypterus*, sont rangées parmi les Poissons, bien qu'elles possèdent des *poumons*.

Dans le mouvement terripète, il n'est pas de modification plus significative que l'acquisition du poumon. Il ne se forme pas aux dépens des branchies, mais se développe, chez les Vertébrés supérieurs, comme organe autonome, dans le canal qui se trouve immédiatement derrière la glande thyroïde. Les branchies peuvent même, comme c'est le cas chez les Grenouilles, rester en usage quelque temps concurremment avec les poumons. Enfin, même chez les Mammifères tout à fait supérieurs, il subsiste une trace de branchies pendant la période embryonnaire, comme pour attester qu'eux aussi ont une origine marine. Le poumon apparaît chez tous les animaux terrestres : Mollusques, Reptiles, Oiseaux, Mammifères; le même besoin suscite la même création.

Nous ne parlerons pas des modifications qu'éprouvent les extrémités; mais nous allons dire quelques mots des organes des sens.

Dans l'oreille de certains Denticètes, c'est-à-dire de Mammifères retournés à la mer, le conduit auditif est presque fermé ; le son ne peut se transmettre que par conduction moléculaire, car le tympan est à peine sensible aux ondes sonores. Dollo a découvert que chez le *Plioplatecarpus*, Mosasaurien crétacé, et chez l'Ichthyosaure, la transmission du son devait être également moléculaire[1].

L'*œil* présente, de même, maint exemple de modifications analogues chez des animaux tout aussi différents, et, de fait, il est difficile de s'expliquer ces phénomènes si l'on n'admet pas, au moins pour l'œil, l'unité du système sensoriel, soit qu'on le conçoive avec Hæckel comme formé par des sensilles, soit qu'on accepte les résultats des recherches ultérieures. En fait, des yeux peuvent se développer dans les parties du corps les plus différentes, voire même à l'intérieur du manteau chez les Céphalopodes et dans les branchies chez certains Bivalves[2]. Les observations paléontologiques démontrent d'une manière irréfutable

1. L. Dollo, *L'Audition chez les Ichthyosauriens* (Bull. Soc. Belge de Géol., XXI, 1907, Procès-verb., p. 157-163); *Les Mosasauriens de la Belgique* (Ibid., XVIII, 1904, Mém., p. 208-216, pl. VI); *Un nouvel opercule tympanique de* Plioplatecarpus, *Mosasaurien plongeur* (Ibid., XIX, 1905, Mém., p. 125-131, pl. III).

2. W. E. Hoyle, *On an Intrapallial Luminous Organ in the Cephalopoda* (Verhandl. V. Internat. Zool. Congress, Berlin, 1901. In-8°, 1902, p. 774); P. Pelseneer, *Les Yeux branchiaux des Lamellibranches* (Bull. Acad. Roy. des Sc., Bruxelles, 3e sér., 1908, p. 773-779); Ed. Enslin dit que les Planaires sont capables de multiplier leurs yeux; *Dendrocoelum cavaticum Fries. Verbreitung. Anatomie nebst Bemerkungen über die Reduktion der Augen. Systematische Stellung* (Jahreshefte Württemb. Naturw. Ver., LXII, 1906, p. 312-360, pl, I); W. N. Parker trouve des organes sensitifs sur tout le corps de *Protopterus* : *On the Anatomy and Physiology of Protopterus annectens* (Proc. Royal Soc., London, XLIX, 1891, p. 549-554). [Ces considérations ont été reprises et développées dans l'ouvrage de O. Abel, *Grundzüge der Paläobiologie der Wirbeltiere.* In-8°, xv-708 p., 470 fig., 1 pl. Stuttgart, 1912.]

que les deux yeux des Vertébrés actuels sont également le résultat d'un long processus de concentration.

De Graaf observa en 1886 que chez l'*Anguis fragilis* l'orifice pariétal est accompagné d'un œil atrophié, que ce naturaliste interpréta comme un organe dégénéré; et, de l'existence d'un orifice pariétal chez les *Stégocéphales*, il conclut qu'il avait dû exister à cette place un œil normal. Bientôt après, Credner montrait que chez l'*Anthracosaurus raniceps* du Permien, les écailles de la peau ne recouvrent pas l'orifice pariétal et établissait ainsi l'existence d'un œil disparu[1].

D'autres observations nous apprennent ce qui suit :

A l'époque du Gondwana, la Terre offre, comme on l'a déjà dit à maintes reprises, l'aspect de vastes continents, avec une flore et une faune terrestres répandues sur des espaces énormes[2]. Vers cette époque ont vécu, en des lieux très éloignés les uns des autres, des Reptiles terrestres dont l'orifice pariétal, en particulier dans le groupe des Anomodontes, présentait des dimensions qui n'ont jamais été atteintes depuis. Il y a déjà longtemps que Cope avait été frappé de sa grandeur extraordinaire chez les Diadectidés des dépôts permiens du Texas[3]. Bien loin de là, près d'Elgin, dans le Nord-Est de l'Écosse, dans des couches de l'âge de la flore du Gondwana, on a trouvé chez *Gordonia Traquairi* l'orifice pariétal logé dans une dépression allongée. « Sa forme creuse, en godet, dit Newton, indique vraisemblablement qu'il contenait un œil bien développé[4]. » Seeley a décrit un crâne brisé de

1. Tous les détails se trouvent dans F. K. Studnička, *Die Parietalorgane* (*in* Alb. Oppel, *Lehrbuch der vergleichenden Mikroskopischen Anatomie der Wirbelthiere*, V). In-8°, 254 p., 1 pl., Jena, 1905. On ne connaît jusqu'à présent aucun fossile ayant des ouvertures disposées par paires; peut-être la disposition des écailles chez *Anthracosaurus* figurée par H. Credner en est-elle, toutefois, un indice; *Die Stegocephalen aus dem Rothliegenden des Plauen'schen Grundes bei Dresden* (Zeitschr. Deutsch. Geol. Gesellsch., XXXVIII, 1886, p. 592-596).

[2. Une découverte capitale, à cet égard, est celle du genre *Glossopteris* dans le Beacon Sandstone de la Terre de Victoria (III, 3ᵉ partie, p. 1006). La présence de cette fougère aux abords du pôle Sud vient confirmer d'une façon éclatante l'hypothèse d'un ancien continent austral, le *Continent de Gondwana*, souvent invoqué pour rendre compte de la répartition de la flore fossile qu'elle caractérise; A. C. Seward, *Antarctic Fossil Plants. British Antarctic* (*Terra Nova*) *Expedition, 1910. Natural History Report, Geology*. Vol. I, n° 1, in-4°, p. 1-49, fig. 1-6, Maps A-C, pl. 1-8, London, 1914 (British Museum, Natural History); compte rendu critique, par Edw. W. Berry (Science, New York, n. s., XLI, 1915, p. 830-831).]

3. E. D. Cope, *The Skull of Empedocles* (The American Naturalist, XIV, 1880, p. 304); voir aussi *Second Contribution to the History of the Vertebrata of the Permian Formations of Texas* (Proc. Amer. Phil. Soc., Philadelphia, XIX, 1880, p. 45).

4. E. T. Newton, *On some new Reptiles from the Elgin Sandstone* (Phil. Trans., vol. 184 B, 1893, p. 431-503, pl. 26-41, en particulier p. 438, 1894). — L'accord entre les géologues n'est toujours pas absolu au sujet de l'âge de ces couches. Noetling et Hayden disent que, dans le Cachmir, des bancs à *Gangamopteris*, *Archegosaurus*, etc., sont recouverts par le Carbonifère supérieur marin (H. H. Hayden, *The Stratigraphical Position of the* Gangamopteris *Beds of Kashmir*; Records Geol. Survey of India, XXXVI, 1907, p. 23-39, pl. 4-9) [voir, en outre, C. S. Middlemiss, *Gondwanas and Related Marine Sedimentary Systems of Kashmir* (Ibid., XXXVII, 1909, p. 286-327, pl. 26-34); et *A Revision of the Silurian-Trias Sequence in*

Deuterosaurus trouvé dans le Permien de l'Oural, dans lequel l'orifice pariétal communique avec le cerveau par un canal large de trois quarts de pouce [2 cm.][1]. Chez le *Delphinognathus* de l'Afrique australe, le milieu du crâne est bombé et forme un cône indépendant, qui porte l'orifice pariétal, large de près de deux centimètres, cratériforme et entouré d'une auréole d'orifices vasculaires[2]. Dans ces exemples, l'organe central lui-même peut avoir affecté une forme tout à fait différente de celle qu'il présente aujourd'hui.

Jaekel a rassemblé des observations analogues relatives à différentes formations. Il en résulte que, chez bon nombre de Poissons dévoniens, l'orifice se trouve non dans les os pariétaux, mais dans les os frontaux. De plus, il est accompagné, chez *Thursius* et *Diplopterus*, d'une couronne de plaquettes ossifiées qui pourrait, à mon sens, et malgré les doutes qui ont été élevés à ce sujet, être considérée comme un anneau sclérotique[3].

Chez les Reptiles vivants, il existe deux groupes d'organes situés l'un derrière l'autre : les organes pariétaux avec l'œil pariétal et, en arrière de celui-ci, les organes pinéaux; les premiers seuls pénètrent, en certains cas, dans un orifice pariétal. Qu'il s'agisse réellement alors d'un troisième œil rudimentaire, c'est ce qui résulte de l'exis-

Kashmir (Ibid., XL, 1910, p. 206-260, pl. 28-39)], et Amalitzky rapporte que, dans le Nord de la Russie, on trouve successivement au-dessous du Zechstein marin les bancs à *Gangamopteris*, *Glossopteris*, *Dicynodon*, etc., au-dessous de ces assises du Permien inférieur à *Callipteris conferta* et, plus bas encore, du Permien inférieur marin à *Productus Cancrini* (V. Amalitzky, *Excursion géologique dans le Nord de la Russie*; Exposé à la Soc. Imp. des Naturalistes à St-Pétersbourg. In-8°, 25 p., 1899; *Sur la découverte, dans les dépôts permiens supérieurs du Nord de la Russie, d'une flore glossoptérienne et de reptiles* Pareiasaurus *et* Dicynodon (C. R. Acad. Sc., Paris, CXXXII, 1901, 1er sem., p. 591-593); et ailleurs). — A Elgin, Newton distingue au moins deux horizons différents du Karroo africain. Dans le présent ouvrage, nous avons encore attribué au Carbonifère l'époque glaciaire associée à ces gisements; telle est aussi l'opinion de Tschernyschew. E. Koken la met dans le Permien (*Indisches Perm und die permische Eiszeit*; Neues Jahrb. f. Min., Festband, 1907, p. 446-546, 1 pl. : carte); E. A. Newell Arber (*Catalogue of the Fossil Plants of the Glossopteris-Flora in the Department of Geology, British Museum.* In-8°, London, 1905, p. XXXVIII-XLIII) réunit la flore à *Glossopteris* à celle du Carbonifère supérieur; A. C. Seward et T. N. Leslie (*Permo-Carboniferous Plants from Vereeniging, Transvaal*; Quart. Journ. Geol. Soc., LXIV, 1908, p. 111) insistent sur le fait qu'à Tété, dans la vallée du Zambèze, la flore du Carbonifère supérieur typique de l'Europe se montre indépendante de la flore à *Glossopteris*. [Il paraît établi, aujourd'hui, que les formes européennes signalées dans les couches houillères des bords du Zambèze ne proviennent pas, en réalité, de cette région.]

1. H. G. Seeley, *Researches on the Structure, Organization, and Classification of the Fossil Reptilia*, VIII. *Further Evidences of the Skeleton in* Deuterosaurus *and* Rhopalodon *from the Permian Rocks of Russia* (Phil. Trans., vol. 185 B, 1894, p. 663-717, pl. 60-63; voir p. 677).

2. H. G. Seeley, *On Delphinognathus conocephalus* (*Seeley*) *from the Middle Karroo Beds, Cape Colony, preserved in the South African Museum* (Quart. Journ. Geol. Soc., XLVIII, 1892, p. 469-475).

3. O. Jaekel, *Ueber die Epiphyse und Hypophyse* (Sitzungsber. Gesellsch. Naturf. Freunde, Berlin, 1903, p. 27-58, fig.); l'orifice pariétal est appelé dans ce mémoire *épidyse*; *épiphyse* est le nom du corps pinéal, dont il sera question plus loin.

tence, démontrée chez bon nombre de Sauriens, d'un cristallin réfringent, d'une rétine pigmentée et d'un nerf spécial qui assure la communication avec le cerveau. Un autre animal particulièrement intéressant à cet égard, à côté des Sauriens, est le *Sphenodon* ou *Hatteria* (fig. 408), ce témoin si remarquable de l'époque permienne, qui existe encore aujourd'hui à l'état sporadique dans les petites îles du Détroit de Cook (Nouvelle-Zélande). Son œil, pourvu d'un cristallin et d'une rétine, pénètre dans l'orifice pariétal (fig. 409). Chez les adultes, l'orifice est fermé par du tissu conjonctif.

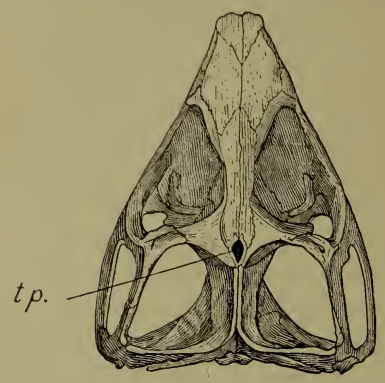


Fig. 408. — Tête de *Hatteria* (*Sphenodon punctatus*, Gray), d'après K. A. Zittel (*Traité de Paléontologie*, trad. par Ch. Barrois. In-8°, t. III, Paris-Munich-Leipzig, 1893, p. 576, fig. 525).

Grandeur naturelle. — *tp*. Orifice pinéal.

Il semble que l'organe, double à l'origine, est devenu simple par le fait d'une préférence donnée à l'un des appareils. La glande pinéale, seul ou presque seul reste subsistant chez les Mammifères, représenterait donc un quatrième œil. Chez l'Homme même, on a découvert des traces d'un nerf pariétal[1].

La lutte de l'œil contre l'obscurité se présente autrement. Déjà les yeux à facettes des Trilobites accusent tantôt une atrophie, tantôt une hypertrophie, et chez le genre *Trinucleus* du Silurien inférieur, il arrive que les individus jeunes ont des yeux à facettes, tandis que les adultes sont aveugles[2]. Si maintenant l'on se reporte aux observations d'Exner sur les migrations du pigment dans l'œil à facettes et à celles de Chun sur les organes phosphorescents et les yeux télescopiques des animaux appartenant à la faune abyssale, on se trouve en présence de merveilleux processus physiologiques et de créations nouvelles, qui sont sans doute appelés et suscités par les conditions de milieu, mais qui dépassent de beaucoup l'idée simple et courante de l'adaptation[3]. Les organes phosphores-

1. O. Marburg, *Normale und pathologische Histologie der Zirbeldrüse* (Arbeiten aus d. Neurol. Inst. d. Wiener Universität, herausgegeb. von Obersteiner, XVII, 1908, p. 217-279); M. le Prof. Zuckerhandl a bien voulu attirer mon attention sur cette circonstance.

[2. Sur les yeux des Trilobites, voir II, p. 345-352; consulter en outre l'exposé de L. Dollo, *La Paléontologie éthologique* (Bull. Soc. Belge de Géol., XXIII, 1909, Mém., p. 377-421, pl. VII-XI).]

3. S. Exner, *Die Physiologie der facettirten Augen von Krebsen und Insecten*. In-8°, VIII-206 p., 23 fig., 8 pl., Leipzig-Wien, 1891; C. Chun, *Leuchtorgan und Facettenauge*; *ein Beitrag zur Theorie des Sehens in grossen Meerestiefen* (Biol. Centralbl., XIII, 1893, p. 544-571); voir surtout les travaux de l'Expédition de la « *Valdivia* » [notamment Fr. Doflein, *Brachyura*. Text. In-f°, XIV-314 p., 68 fig., 1 pl.; Atlas, 58 pl. Jena, 1904 (Wiss. Ergebnisse Deutsch. Tiefsee-

cents, considérés jadis comme des yeux accessoires, sont bien, il est vrai, des appareils auxiliaires de la vision, mais ce sont aussi des organes nettement autonomes. Leur origine indépendante semble, à la vérité, moins merveilleuse que celle du poumon, parce qu'en effet les yeux peuvent apparaître sur des parties du corps très différentes; mais tout comme le poumon, les organes phosphorescents se rencontrent chez les animaux les plus divers, chez des Crustacés, des Céphalopodes et des Poissons. On a même trouvé chez quelques-uns des Mammifères redevenus marins des dispositifs analogues[1].

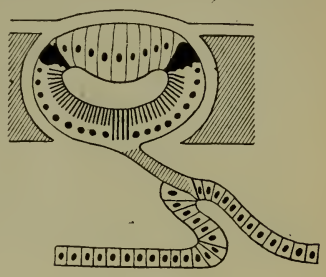


Fig. 409. — Schéma de l'œil pinéal de *Hatteria* (*Sphenodon*) d'après W. B. Spencer (*in* R. Wiedersheim, *Manuel d'Anatomie comparée des Vertébrés*, trad. par G. Moquin-Tandon. In-8°, Paris, 1890, p. 146, fig. 137 G.).

Le grisé représente les os du crâne. La couche claire située au-dessus correspond à la peau.

Le poumon nous apparaît donc comme le produit de la vie terrestre, l'organe phosphorescent comme le produit de la vie abyssale, et la plage, entre l'une et l'autre, comme leur commune patrie originelle. Des classes d'animaux différentes jouissent de la faculté permanente de développer, dans les mêmes conditions de milieu, les mêmes organes nouveaux. Ceci est tout autre chose que la communauté d'origine. *Il ne s'agit pas là de convergence, mais de parallélisme persistant.* L'état de choses ancien finit par disparaître dès la vie embryonnaire. Des espèces nouvelles, voire même bien des genres nouveaux apparaissent, et, malgré cette différenciation croissante, des organes identiques se créent chez des animaux différents sous les influences complexes que l'on groupe ordinairement sous le nom d' « adaptation ».

Expéd., VI. Bd.); Aug. Brauer, *Die Tiefseefische*, II. *Anatomischer Teil*. 266 p., 11 fig., pl. XIX-XLIII, 1908 (Ibid., XV. Bd., 2. Liefg.). [Voir en outre : F. Doflein, *Die Augen der Tiefsee Krabben* (Biol. Centralbl., XXIII, 1903, p. 570-593, 8 fig.); M. Caullery, *Les yeux et l'adaptation au milieu des animaux abyssaux* (Revue générale des Sc., XVI, 1905, p. 324-340, 14 fig.); E. Mangold, *Tierisches Licht in der Tiefsee* (Meereskunde, Berlin, VI, n° 8, 1912. In-8°, 30 p., 26 fig.); L. Joubin, *La Vie dans les Océans*. In-12, Paris, 1912, chap. VI et VII : « La lumière. La vision chez les êtres marins » (p. 101-154); Sir John Murray and J. Hjort, *The Depths of the Ocean*, etc. In-8°, London, 1912, p. 662-688.]

1. A. Pütter, *Die Anpassung des Säugetierauges an das Wasserleben* (Verhandl. V. Internat. Zool. Congress. zu Berlin, 1901, p. 613-620). [Voir aussi les travaux de R. Dubois : *La Lumière physiologique. I. Les organismes photogènes* (Revue générale des Sc., V, 1894, p. 415-422, 9 fig.); *II. Mécanisme intime de la fonction photogénique* (Ibid., p. 529-534, 2 fig.); *Leçons de Physiologie générale et comparée*. In-8°, Paris, 1898, 2e partie, p. 299-527, fig. 136-222; *La Vie et la Lumière*. In-8°, 338 p., 48 fig. Paris, 1914 (Bibliothèque Scientifique Internationale).]

III

Histoire de la Mer Caspienne. — Le domaine paléocaspien; comparaison avec le Sahara.

1° *Évolution des faunes dans l'Europe Centrale et Orientale.* — Le Premier Étage Méditerranéen. Époque du Schlier. Le Deuxième Étage Méditerranéen. Affinités malaises de la faune de Steinheim. Isolement définitif du domaine paléocaspien : la Mer Sarmatique. Affinités africaines de la faune pontique. Invasion de la faune holarctique.

2° *Parallèle avec l'Inde.* — Structure du Golfe Persique; succession des couches tertiaires sur ses bords; analogies avec l'Europe. — Faunes diverses actuellement représentées dans l'Inde.

3° *Parallèle avec l'Afrique du Nord.* — Faunes fossiles du Fayoum. Résidu malais dans la faune africaine actuelle.

4° *Résumé général.* — Succession des faunes terrestres et des étages méditerranéens. Extension des dépôts méotiques et pontiques. — L'Homme, contemporain de la faune africaine en Europe et dans l'Inde. — L'époque glaciaire. Abaissement du niveau de la Mer Noire. Ouverture des Dardanelles. La Caspienne et la Mer d'Aral. Distribution des Poissons d'eau douce dans l'Europe Orientale et en Asie. — Traces d'un desséchement récent.

Histoire de la Mer Caspienne. — La plage, telle que nous l'avons considérée jusqu'ici, est ouverte et libre. Mais il arrive aussi qu'elle se ferme, se contracte, et retienne prisonniers les habitants des eaux.

La Face de la Terre nous offre deux exemples qui montrent comment deux grandes mers peuvent disparaître sans que des perturbations tectoniques y aient essentiellement contribué. L'héritière défunte de l'une est le groupe des salines du Djouf, dans le Sahara occidental; et l'héritière agonisante de l'autre, que l'on peut appeler la Mer Paléocaspienne, est la Mer Caspienne elle-même. A l'époque du Crétacé supérieur, l'une et l'autre furent recouvertes par la transgression marine qui s'étendait de l'Océan Atlantique jusque dans la cuvette du Tarim. Elles se séparèrent ensuite, en partie par le fait de la prépondérance des oscillations littorales négatives, et en partie par suite de mouvements tectoniques (Alpes, Iran). Le Djouf fut isolé, et cela, semble-t-il, simplement par la retraite de la mer. La séparation se fit probablement du Nord-Ouest au Sud-Est, depuis les hauteurs de l'Ahaggar, à quelque distance de Bilma, dans la direction des montagnes du Tibesti; un bassin atlantique se trouva ainsi séparé d'un bassin libyco-méditerranéen (I, p. 459, fig. 68; III, 2e partie, p. 663). Il s'en faut que, même à l'époque du Tertiaire moyen, le domaine paléo-caspien ait été aussi nettement limité du côté de la Méditerranée : tandis que celle-ci continue à s'agrandir par une série d'effondrements, la Mer Paléocaspienne reste une mer transgressive, que les mouvements orogéniques morcellent sans l'étendre. Il faut donc la considérer simplement comme une extension tardive et temporaire de la Téthys.

Dans l'Ouest, toutes les plaines du Danube moyen et inférieur et les

pentes septentrionales des Carpathes et du Caucase appartiennent au domaine de la Mer Paléocaspienne. Dans l'Est, le Crétacé supérieur et l'Éocène ont atteint les environs de Kachgar et de Sanju, et l'on peut se demander si les gypses du Pamir ne sont pas d'âge tertiaire[1]. Dans l'ensemble, cependant, l'histoire de cette mer reste liée pendant un long espace de temps avec celle de la Méditerranée.

Les bords méridionaux du horst bohémien sont entourés seulement par des formations littorales du Premier étage Méditerranéen : ce fait indique quelque événement décisif, et c'est par là que nous pouvons débuter dans l'examen qui va suivre. Nous partirons de ce qui a été déjà dit (I, p. 358) des destinées de la Mer Méditerranée, et nous nous attacherons plutôt à la faune[2]. Le sujet, même ainsi limité, reste si vaste qu'il est nécessaire de le subdiviser. Il sera donc question d'abord : 1° de l'*Europe Centrale* et *Orientale*, particulièrement au point de vue de l'âge des faunes; viendront ensuite : 2° un parallèle avec l'*Inde*, puis 3° avec l'*Afrique du Nord*; et enfin 4° une esquisse des conditions actuelles dans la *Mer Caspienne*.

1. La faune littorale du horst bohémien, dont il vient d'être question, comprend, au-dessus d'un substratum saumâtre à *Cerithium margaritaceum* (couches de Molt, Aquitanien supérieur de Depéret), les sables marins et les calcaires à Lithothamnies du 1er étage Méditerranéen[3], et une faune terrestre, dont Depéret a démontré le parallélisme avec celle des sables de l'Orléanais. Cette faune est connue jusque dans la basse vallée du Tage[4]; le genre le plus caractéristique est un grand Suidé, *Brachyodus*; mais, déjà, on y signale aussi *Mastodon angustidens*[5].

Alors se produit un rétrécissement considérable de la mer; elle s'étend de la Bavière, à travers l'Europe Orientale, jusque loin en Asie. Le sel et le gypse se déposent; c'est l'époque saline du Schlier[6], *premier signe avant-coureur de la fin*. A côté d'espèces méditerranéennes, on voit apparaître, dans les marnes qui leur sont associées, bon nombre d'espèces endémiques nouvelles; on y a rencontré aussi un Cétacé de

[1. Voir III, 1re partie, p. 393-395.]

[2. On trouvera un exposé très complet de la stratigraphie des formations néogènes, en particulier pour ce qui concerne le bassin de la Méditerranée, dans le *Traité de Géologie* d'Ém. Haug, fasc. 3. In-8°, Paris, 1911, p. 1599-1759 (bibliographie de 293 articles).]

[3. I, p. 391.]

[4. Voir H. F. Osborn, *The Age of Mammals in Europe, Asia and North America*. In-8°, New York, 1910, p. 250-255; carte des gisements de Mammifères burdigaliens en Europe, fig. 126, p. 250.]

5. Ch. Depéret, *Über die Fauna von miocänen Wirbelthieren aus der ersten Mediterranstufe von Eggenburg* (Sitzungsb. K. Akad. Wiss. Wien, Mathem.-naturwiss. Cl., CIV, Abt. I, 1895, p. 395-416, pl. I, II); *Le Néogène continental dans la Basse Vallée du Tage, Paléontologie*, par F. Roman; *Stratigraphie*, par A. Torres. In-4°, 108 p., 5 pl., Lisbonne, 1907 (Comm. du Service Géol. du Portugal).

[6. Voir I, p. 398-408.]

8 mètres de long. De faibles modifications pourraient, aujourd'hui encore, isoler l'ensemble de la Méditerranée, la Mer Noire comprise.

La période pendant laquelle l'évaporation l'emporte sur les précipitations se termine. Des Cardiums saumâtres s'établissent. Des couches d'eau douce à *Oncophora* pénètrent depuis l'Ouest jusqu'en Moravie. Des feuilles de Cannellier sont transportées par le vent; des lignites se forment sur le bord oriental des Alpes. Un horizon caractérisé par *Cerithium lignitarum* (Helvétien) marque le début du IIe étage méditerranéen[1]. Cette transgression est médiocrement étendue. Alentour, les conséquences de la période de sécheresse ont disparu, et dans toute l'Europe Centrale vit une riche faune terrestre. *Brachyodus* s'est éteint; *Mastodon angustidens* existe encore, en même temps que des Singes anthropoïdes, ainsi que *Amphicyon*, *Dinotherium*, *Anchitherium*, *Hyæmoschus*, *Dicrocerus*, *Palæomeryx*, *Listriodon*, etc. Cette faune aussi s'étend vers l'Ouest jusqu'à la basse vallée du Tage. Parmi les gisements les plus connus sont ceux de Sansan, de Steinheim et des lignites de Styrie (Eibiswald)[2].

Oscar Fraas écrivait en 1870 que l'étude des fossiles de Steinheim imposait la conviction que cette faune existe encore dans l'archipel malais. Peu de temps après, A. von Pelzeln la qualifiait de faune *malaise*[3]. Nous ferons usage de ce terme, *non pour signifier que les terres de la région malaise ont été la patrie originelle de ces animaux, mais pour indiquer simplement qu'ils présentent une affinité particulière avec la faune actuelle de cette région.*

Un nouveau rétrécissement se produit, manifestement dû cette fois à un abaissement de la ligne de rivages sur une grande étendue. *Désormais, le domaine paléocaspien est définitivement isolé de la Méditerranée.* La mer ainsi formée, ou Mer Sarmatique[4], atteint sa limite occidentale en Basse-Autriche, tandis qu'elle embrasse la Mer d'Aral à l'Est. Ses eaux n'ont plus tout à fait une composition normale. La faune est pauvre en espèces, mais extraordinairement riche en individus. Des résidus de la faune méditerranéenne vivent côte à côte avec la faune endémique,

[1. Voir I, p. 409-417.]

[2. H. F. Osborn, *The Age of Mammals*, etc., p. 255-264; carte des gisemente de Mammifères vindoboniens en Europe, fig. 129, p. 258.]

3. O. Fraas, *Die Fauna von Steinheim. Mit Rücksicht auf die miocünen Säugethier- und Vogelreste des Steinheimer Beckens* (Jahreshefte Naturwiss. Ver. Württemberg, XXVI, 1870, p. 145-306, pl. IV-XIII; en particulier p. 297); A. v. Pelzeln, *Africa-Indien. Darstellung der Beziehungen zwischen der africanischen und indo-malayischen Vogel-Fauna, nebst allgemeineren Betrachtungen über die geographische Verbreitung der Säugethiere* (Verhandl. Zool.-Bot. Gesellsch. Wien, XXV, 1875, p. 33-62); le même, *Uber die malayische Säugethier-Fauna* (Festschrift zur Feier des 25jährigen Bestehens d. K. K. Zool.-Bot. Gesellsch. Wien. In-4°, 1876, p. 51-74, 1 pl. carte); voir aussi les observations de W. T. Blanford sur ce mémoire : *Note on the « Africa-Indien » of A. von Pelzeln, and on the Mammalian Fauna of Tibet* (Proc. Zool. Soc. London, 1876, p. 631-634).

[4. Voir I, p. 417-424; II, p. 506.]

où figurent des Mammifères marins et, parmi les Mollusques, *Trochus*, *Mactra*, *Cardium*, etc. Les Céphalopodes, Brachiopodes, Échinides et Polypiers font défaut, et ne pénètrent plus dans le domaine caspien.

Cette transformation des contours de la mer et de sa faune n'est accompagnée d'aucune modification essentielle de la faune terrestre malaise. L'érosion qui se produit alors à la surface des dépôts sarma-

Fig. 410. — Extension de la faune à *Hipparion* dans l'Ancien Continent, d'après H. F. Osborn (*The Age of Mammals in Europe, Asia and North America*. In-8°, New York, 1910, fig. 132, p. 265).

tiques témoigne d'un nouveau mouvement négatif, si important que les rivages de la Méditerranée se trouvent probablement portés au-dessous de leur niveau actuel. Ce qui jusqu'alors avait été le domaine de la mer est occupé par une chaîne de lacs d'eau douce : c'est l'étage *pontien*[1]. C'est alors seulement que la faune malaise disparaît, et la faune qui lui succède présente un cachet tout à fait *africain*[2]. Elle est caractérisée par des Singes, un *Machairodus*, l'Hyène, *Mastodon longirostris*, *Dino-*

[1. Voir I, p. 425-429.]

[2. Mis depuis longtemps en évidence par A. Gaudry : *Animaux fossiles et Géologie de l'Attique*. 2 vol. in-4°, Paris, 1862-1867.]

therium giganteum, *Hipparion*, *Helladotherium*, *Camelopardalis*, une Gazelle, *Palæoryx*, une Autruche, etc. On la connaît dans la vallée du Tage, à Concud (Espagne), à Eppelsheim près de Francfort, dans les couches à Congéries du bassin de Vienne et dans les graviers du Belvédère, à Balta en Podolie, à Pikermi non loin d'Athènes, dans l'Ile de Samos, à Maragha (Perse), et en beaucoup d'autres lieux (fig. 410)[1]. Des formes caractéristiques du Cap se rencontrent sur les points les plus éloignés, par exemple le genre *Orycteropus* qu'on trouve à Maragha et à Samos. Le genre *Manis* prêterait à des remarques analogues[2].

A travers des vicissitudes diverses, *la faune et la flore holarctiques* envahissent alors l'Europe; des éléments asiatiques apparaissent; toutefois, il subsiste encore aujourd'hui çà et là, dans les pays qui bordent au Nord la Méditerranée, des restes de la faune africaine.

2. Les études de Pilgrim sur les bords du Golfe Persique ont apporté à l'histoire de la Méditerranée un complément précieux[3].

Le rebroussement secondaire, soupçonné aux environs de Bender Abbas, s'observe effectivement. L'une des chaînes extérieures de l'Iran, qui s'ennoye près de Karachi[4], ressort au Ras el Hadd, dans le Sud-Est de l'Arabie. Elle court en arc de cercle à travers l'Oman, s'élève à des hauteurs imposantes, et atteint le Cap Masandam en face de Bender Abbas. Elle est formée de schistes cristallins, de sédiments paléozoïques et triasiques, d'une puissante intrusion basique, puis de Crétacé et de Tertiaire. Le Golfe d'Oman n'est donc pas une avant-fosse, mais il se trouve à l'intérieur de la virgation, annoncée plus à l'Est, des chaînes du Sind. L'avant-fosse des chaînes du Zagros ne commence qu'en-deçà du Détroit d'Ormuz, et l'on suppose que l'affaissement du Golfe Persique ne s'est produit qu'à une époque très récente, car les sédiments éocènes de l'Ile Bahrein diffèrent de ceux de la Perse.

Du côté de la Perse, sur la Craie et l'Éocène repose l'Oligocène, l'étage inférieur de Nari de l'Inde, puis l'étage supérieur de Nari, qui correspond aux couches du Lac d'Ourmiah, c'est-à-dire au Premier étage Méditerranéen. Vient ensuite une formation gypseuse étendue, surmontée, sur toute la distance qui sépare Bouchir de Bender Abbas,

[1. H. F. Osborn, *The Age of Mammals*, etc , p. 264-272; carte des gisements de Mammifères pontiens en Europe, fig. 134, p. 267.]

2. C. J. Forsyth Major, Proc. Zool. Soc. London, 1893, p. 239.

3. G. E. Pilgrim, *The Geology of the Persian Gulf and the adjoining Portions of Persia and Arabia* (Mem. Geol. Survey of India, XXXIV, part 4, 1908, 177 p., 17 pl., dont 6 cartes géol.); C. Diener, *Note on Some Fossils from the Sedimentary Rocks of Oman, Arabia* (Records Geol. Survey of India, XXXVI, 1908, p. 156-163, pl. 24). Au moment de l'impression de la p. 1418, je n'avais pas encore connaissance du travail de Pilgrim, et, jusqu'à présent, le rebroussement d'Ormuz ne pouvait guère passer que pour une hypothèse; sur ce point, voir aussi le présent ouvrage, I, p. 552 et III, 1re partie, p. 381 394.

[4. Voir III, 4e partie, p. 1376, fig. 312.]

par les puissants équivalents du IIe étage Méditerranéen à *Pecten Virleti* et *Venus Aglauræ*. C'est pourquoi Pilgrim rapporte aussi le gypse à l'horizon du Schlier autrichien.

La zone suivante du *Pecten Vasselii* ou zone littorale est connue depuis Kishm, le long de la côte du Mekran, jusqu'à Karachi. Elle présente — fait inattendu — un assez grand nombre d'espèces endémiques[1].

Vient ensuite en discordance la série des Bakhtyaris, qui est, selon toute apparence, une ancienne formation fluviatile. Loftus l'a même suivie jusqu'à Mossoul, sur le Tigre; toutefois, elle a encore été englobée dans les plissements. On pourrait la considérer comme le remplissage d'une ancienne avant-fosse. Enfin on voit apparaître une oolithe à Foraminifères (Miliolithe), en couches horizontales; on l'interprète comme une formation éolienne. Des bancs de coquilles durcis (*litoral concrete*) terminent la série.

Le « cul-de-sac » du Golfe Persique actuel contient, comme la zone à *Pecten Vasselii*, bon nombre de Mollusques endémiques.

Les variations principales des mers à l'époque du Tertiaire moyen s'étendent, comme on l'a vu précédemment, et comme l'indique en particulier l'intercalation de gypse et de sel suivant un horizon déterminé, non seulement sur l'Arménie et le plateau iranien jusqu'au Khorassan, mais aussi, par la Mésopotamie, au moins jusqu'au Détroit d'Ormuz. Qu'on se rappelle comment Livingstone décrit la retraite des Éléphants et des Rhinocéros devant la sécheresse, et l'on pourra imaginer l'influence d'une période d'aridité semblable sur le monde animal.

Les dépôts tertiaires du Golfe Persique se relient, par Karachi, à ceux de la vallée de l'Indus.

La succession des faunes terrestres dans l'*Inde* (fig. 411) ressemble tout à fait à ce qu'elle est dans l'Europe Méridionale. Nous nous bornerons à quelques exemples. Dans les Monts Bugti, dans le Baloutchistan oriental (avant-chaînes méridionales du Sewestan du côté de l'Indus), Blanford a trouvé *Brachyodus*, et aussi des Unios à replis

1. Voir I, p. 407. Le *Pecten Vasselii* a été décrit par Th. Fuchs comme provenant des déblais du Canal de Suez entre les Lacs Amers et Suez (*Die geologische Beschaffenheit der Landenge von Suez*; Denkschr. K. Akad. Wiss. Wien, Mathem.-Naturw. Cl., 2. Abth., XXXVIII, 1877, p. 40); Blanckenhorn désigne cette espèce comme un fossile caractéristique des récifs coralliens et des dépôts littoraux d'âge pliocène supérieur ou pléistocène du Golfe de Suez; elle apparaît dans des constructions coralligènes plus anciennes, postmiocènes, au Sud-Est du Sinaï (W. F. Hume, *The Topography and Geology of the Peninsula of Sinai, South-Eastern Portion* (Survey Department, Egypt, 1906. In-8°, p. 136) et dans des dépôts littoraux pléistocènes près de Tanga, dans le Nord de l'Afrique [Orientale Allemande]; W. Koert, Zeitschr. Deutsch. Geol. Gesellsch., LX, 1908, Monatsberichte, p. 326-328).

curieux; Pilgrim les rapporte à l'étage aquitanien[1]. C'est des environs de Kushalghâr sur l'Indus (Rawalpindi) que proviennent les restes de

Fig. 411. — Principaux gisements de Mammifères tertiaires de l'Inde, d'après R. D. Oldham (*in* H. F. Osborn, *The Age of Mammals in Europe, Asia and North America*. In-8°, New York, 1910, fig. 136, p. 274).

1. Couches de Manchhar; 2. Monts Bugti; 3. Ile de Perim; 4. Siwaliks du Pandjab; 5. Siwaliks du Sub-Himalaya; 6. Couches du Bas Iraouaddi. — Échelle de 1 : 40 000 000 environ.

Mammifères souvent désignés sous le nom de « fossiles d'Attock ». La présence des genres *Dinotherium*, *Amphicyon* et *Listriodon* indique

1. W. T. Blanford, *Geological Notes on the Hills in the Neighbourhood of the Sind and Punjab Frontier between Quetta and Dera Ghazi Khan* (Mem. Geol. Survey of India, XX, part 2, 1883, p. 105-240, pl. 1-3; en particulier p. 161 et suiv., et p. 233 et suiv.); G. E. Pilgrim, *Description of New Suidæ from the Bugti Hills, Baluchistan* (Records Geol. Survey of India, XXXVI, 1907, p. 45-56, pl. 12); le même, *The Geology of the Persian Gulf*, note de la p. 33. [Sur la classification des assises tertiaires d'eau douce de l'Inde et du Baloutchistan, et le parallélisme des faunes qu'elles renferment avec celles de l'Europe, consulter les travaux suivants de G. E. Pilgrim : *The Tertiary and Post-Tertiary Freshwater Deposits of Balutchistan and Sind, with notices of new Vertebrates* (Records Geol. Survey of India, XXXVII, 1908, p. 139-166, pl. 2-4); *Preliminary Note on a Revised Classification of the Tertiary Freshwater Deposits of India* (Ibid., XL, 1910, p. 185-205); *The Correlation of the Siwaliks with Mammal Horizons of Europe* (Ibid., XLIII, 1913, p. 264-326, pl. 26-28). — Pour la paléontologie de ces dépôts, voir, outre les

des affinités avec la faune malaise[1]. La riche faune des Siwaliks, dans les avant-monts de l'Himalaya, présente le même cachet africain que celles de Pikermi et de Maragha. Elle est connue également en Birmanie, sur l'Iraouaddi. —

Et maintenant, que faut-il entendre par faune malaise? Nous suivrons le mode de division de la faune actuelle de l'Inde dû à Blanford (fig. 412)[2].

La faune *holarctique* s'avance du Nord et du Nord-Ouest et occupe les hautes terres du Tibet, le Pandjab et les régions désertiques jusqu'aux Monts Arvali. Le domaine *malais* typique commence aujourd'hui au Tenasserim et s'étend au loin dans la direction du Sud-Est. Au Nord s'y rattache la région *trans-gangétique*, dont la faune habite la Birmanie, l'Assam et la zone forestière de l'Himalaya. D'ailleurs, on observe dans cette zone forestière, à mesure qu'on s'avance vers l'Ouest, un mélange graduel d'espèces holarctiques, et il semble que la faune trans-gangétique, établie d'abord dans cette région, aurait succombé à une période froide, et y serait revenue très récemment par les forêts de l'Assam. Ces deux faunes, faune du Tenasserim et faune trans-gangétique, ont été réunies par Fraas et von Pelzeln sous le nom de faune malaise : ce sont les mêmes dont Lydekker, également, a reconnu la différence d'avec la faune des Siwaliks et la ressemblance avec les fossiles oligocènes ou miocènes de l'Europe[3].

La région *cis-gangétique*, c'est-à-dire l'Hindoustan proprement dit, possède non seulement beaucoup de genres appartenant à la faune générale indo-malaise (ou orientale), par exemple *Semnopithecus*, *Elephas*, etc., qui vivent principalement dans les parties boisées de la péninsule, mais aussi des éléments d'une autre faune, désignée par Blanford sous le nom de faune *arienne*, tels que *Melursus*, *Boselaphus*, *Antilope*, etc., : ces formes appartiennent à l'Afrique tropicale, tandis qu'elles font défaut dans l'Afrique du Nord et dans les parties voisines de l'Asie. On trouve des précurseurs de l'une et de l'autre faune dans celle des Siwaliks.

Enfin, le domaine du *Malabar* forme une division distincte de la région cis-gangétique, qui s'étend le long de la côte occidentale ainsi

grands ouvrages de Falconer, Cautley, Lydekker, la récente monographie do G. E. Pilgrim : *The Vertebrate Fauna of the Gaj Series in the Bugti Hills and the Punjab* (Palaeontologia Indica, New Ser., vol. IV, Memoir No. 2, 1912, 83p., pl. 1-30 et 1 carte).]

1. R. Lydekker, *Notes on the Fossil Mammalian Faunæ of India and Burma* (Records Geol. Survey of India, IX, 1876, p. 91 et suiv.), et *The Fossil Vertebrata of India. Class I. Mammalia* (Ibid., XX, 1887, p. 51-63); A. B. Wynne, *Note on the Tertiary Zone and underlying Rocks in the North-West Panjáb* (Ibid., X, 1877, p. 119). — Voir aussi le présent ouvrage, I, p. 580.

2. W. T. Blanford, *The Distribution of Vertebrate Animals in India, Ceylon, and Burma* (Phil. Trans., vol. 194 B, 1901, p. 335-436, pl. 44 : carte [reprod. ci-après, fig. 412]).

3. R. Lydekker, *A Geographical History of Mammals*. In-8°, Cambridge, 1896, p. 291.

que sur la partie Sud-Ouest de Ceylan. On y rencontre plus d un genre appartenant aux faunes trans-gangétique et malaise, et ne se trouvant pas ailleurs dans la péninsule. L'accord est si frappant que Stoliczka, dès 1870, posait la question de savoir si la faune malaise ne s'était pas

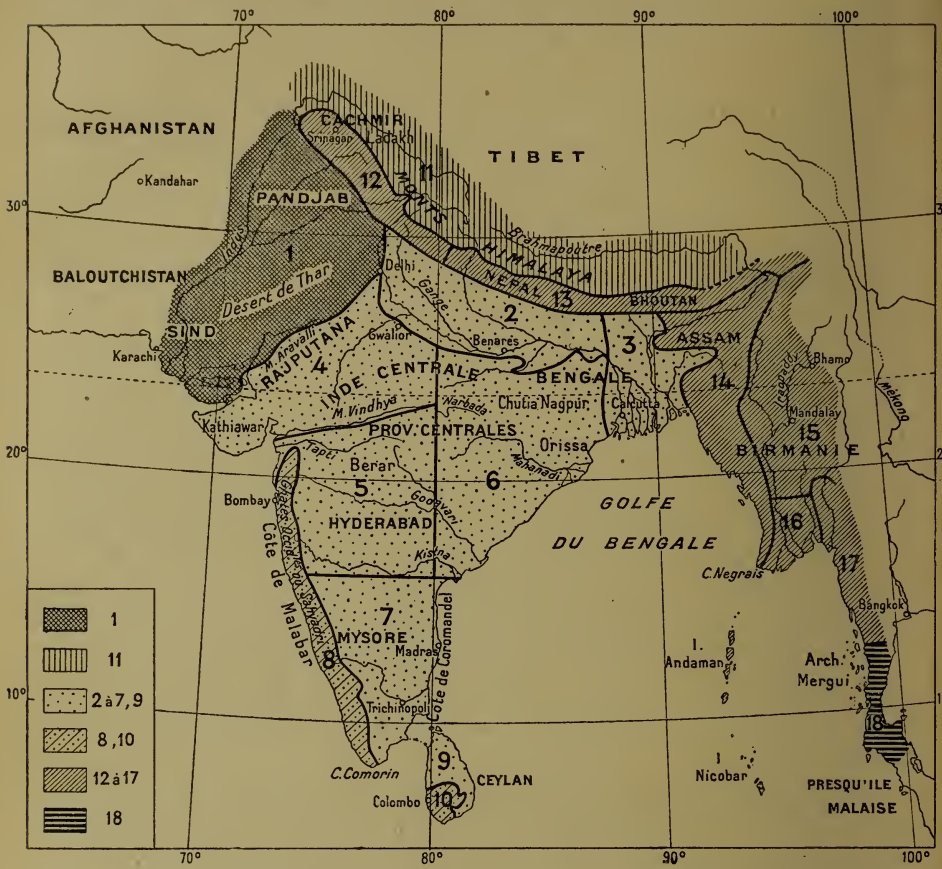


Fig. 412. — Régions zoologiques de l'Inde, d'après W. T. Blanford (*Phil. Trans. Royal Soc. London*, Ser. B, vol. 194, pl. 44, 1901).

Région Holarctique : 1. Pandjab; 11. Tibet. — Sous-région Cis-gangétique : 2. Provinces du Nord-Ouest; 3. Bengale; 4. Rajputana; 5. Dekkan; 6. Orissa et Behar; 7. Madras ou Carnatic; 9. Ceylan (partie Nord). — Région du Malabar: 8. Côte du Malabar; 10. Ceylan (partie montagneuse). — Sous-Région Trans-gangétique : 12. Himalaya Occidental; 13. Himalaya Oriental; 14. Assam; 15. Haute-Birmanie; 16. Pegu; 17. Tenasserim (partie Nord). — Sous-région Malaise : 18. Tenasserim (partie Sud). — Échelle de 1 : 33 000 000 environ.

étendue jadis sur toute la péninsule[1]. Blanford distingue ici les traces d'une troisième faune, encore plus ancienne, la faune *dravidienne*, qui se compose principalement, à part les Mammifères, peu nombreux, de Reptiles et de quelques Mollusques terrestres.

1. F. Stoliczka, *A Contribution to Malayan Ornithology* (Journ. Asiatic Soc. Bengal, XXXIX, part 2, 1870, p. 277-334; en particulier p. 279, 280).

La faune fluviatile ne rentre aucunement dans cette classification. Le Gavial des couches des Siwaliks vit encore dans l'Indus, le Gange, le Brahmapoutra et le Mahanadi; mais on l'a rencontré également dans le fleuve Koladyne (Nord de l'Arrakan). Peut-être est-ce là un indice de l'affaissement récent du Golfe de Bengale, qui a bien pu se former sur l'emplacement du bassin inférieur du Gange. Le Crocodile et l'*Emys tectum* des couches des Siwaliks existent aussi de nos jours [1].

Avant de grouper ces divers détails, il convient de considérer les gisements de l'Afrique du Nord.

3. L'analogie de l'Atlas Méditerranéen avec l'Europe est un fait connu. Depéret a montré que le « Cartennien » de Pomel correspond au Premier étage Méditerranéen, et qu'il contient en Kabylie *Mastodon angustidens* [2]. L'« Helvétien » de Pomel n'est autre chose que le IIe étage Méditerranéen, et le « Sahélien » représente vraisemblablement un équivalent marin de l'étage pontien. On a d'ailleurs retrouvé dans les départements d'Oran et de Constantine la faune terrestre à cachet africain qui correspond à l'étage pontien [3].

Les terrains anciens qui forment l'ossature du Continent de Gondwana s'étendent sur la moitié méridionale de l'Afrique, s'avancent au Nord entre le Nil et la Mer Rouge et, par la Presqu'île du Sinaï, passent en Arabie. Nous avons déjà vu que, par suite de l'abaissement du niveau marin après l'époque crétacée, la mer saharienne s'était divisée à peu près suivant la direction Ahaggar-Tibesti, et qu'il subsista de part et d'autre des cuvettes marines éocènes, puis miocènes. Dans le bassin libyque, les dépôts miocènes, du Nil inférieur jusque vers Tripoli, arrivent au rivage actuel de la mer [4]; mais il ne semble pas qu'ils

1. Les Crocodiliens tertiaires de Malte et de Gozzo, de même que celui du Premier étage Méditerranéen d'Eggenburg, appartiennent au genre *Tomistoma*, qui ne vit plus actuellement qu'à Bornéo; R. Lydekker, *Notes on the Fossil Mammalian Faunæ of India and Burma* (Records Geol. Survey of India, IX, 1876, p. 86-106, en particulier p. 97); le même, *On the Occurrence of the Crocodilian Genus Tomistoma in the Miocene of the Maltese Islands* (Quart. Journ. Geol. Soc., London, XLII, 1886, p. 20-22, pl. II).

2. Ch. Depéret, *Découverte du* Mastodon angustidens *dans l'étage cartennien de Kabylie* (Bull. Soc. Géol. de France, 3e sér., XXV, 1897, p. 518-521, pl. XIX).

[3. Pour un résumé des connaissances acquises sur les terrains néogènes du littoral algérien et des régions voisines, voir le *Traité de Géologie* d'Em. Haug, II, fasc. 3, Paris, 1911, p. 1649-1655; sur les formations synchroniques d'origine continentale qui occupent l'intérieur, consulter M. Boule, *Sur quelques Vertébrés fossiles du Sud de la Tunisie* (Bull. Soc. Géol. de France, 4e sér., X, 1910, p. 312-313), et la thèse de G. B. M. Flamand, *Recherches géologiques et géographiques sur le Haut-Pays de l'Oranie et sur le Sahara* (*Algérie et Territoires du Sud*). In-4°, Lyon, 1911, p. 647-705, fig. 115-135; analyse critique par H. Schirmer, Annales de Géogr., XXI, 1912, p. 159-168.]

[4. Voir : J. W. Gregory, *The Geology of Cyrenaica* (Quart. Journ. Geol. Soc. London, LXVII, 1911, p. 572-615, fig. 1-4, pl. XLII : carte géol. et coupes); suivi de : R. B. Newton, *Kainozoic Mollusca from Cyrenaica* (p. 616-653, pl. XLIII-XLVI); F. Chapman, *Foraminifera, Ostracoda, and Parasitic Fungi from the Kainozoic Limestones of Cyrenaica* (p. 654-661); J. W. Gregory, *The Fossil Echinoidea of Cyrenaica* (p. 661-680, pl. XLVII-XLIX).]

s'avancent bien loin à l'intérieur du désert. De grands fleuves se jetaient dans cette mer; l'Oued Igharghar était sans doute le plus important d'entre eux. Aucun de ces fleuves tertiaires n'atteint aujourd'hui la mer[1].

Ainsi, les contours des différents étages, qui se succèdent assez régulièrement, au Sud et au Sud-Ouest du Caire, indiquent les tracés successifs de la côte septentrionale du continent ancien[2], et les restes remarquables d'animaux terrestres qui s'y rencontrent dans des formations littorales fluvio-marines ne représentent que très imparfaitement

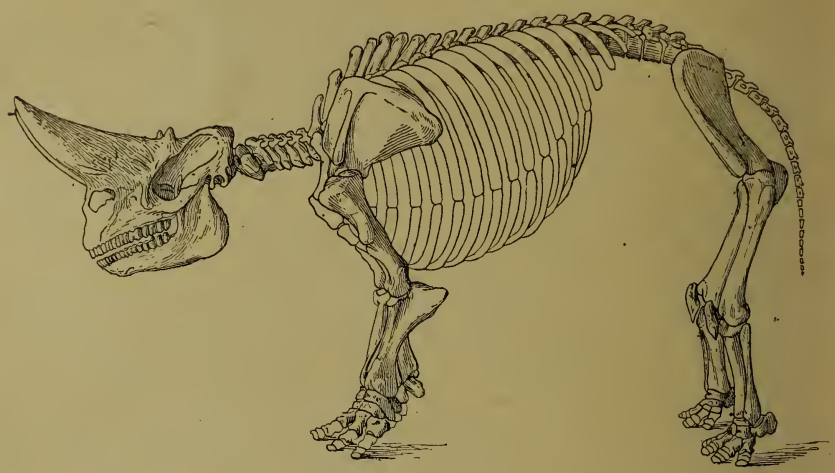


Fig. 413. — Restauration de l'*Arsinoitherium Zitteli*, Beadnell, d'après C. W. Andrews (*A Descriptive Catalogue of the Tertiary Vertebrates of the Fayûm, Egypt.* In-4°, London, 1906, p. 60, fig. 36).

Environ 1/32 de grandeur naturelle.

la riche variété des formes qui animaient alors le Nord du Continent de Gondwana[3].

Les découvertes paléontologiques d'Andrews et les déterminations stratigraphiques de Beadnell nous apprennent qu'au Fayoum, à l'époque

[1. Voir l'étude de M. Blanckenhorn, *Die Geschichte des Nil-Stroms in der Tertiär- und Quartärperiode, sowie des palaeolithischen Menschen in Ægypten* (Zeilschr. d. Gesellsch. f. Erdkunde, Berlin, 1902, p. 694-722, pl. 10, contenant 5 cartes paléogéographiques). — Sur le régime des anciens fleuves sahariens, consulter les travaux de E. F. Gautier, mentionnés ci-après, p. 1568, note 4.]

[2. Voir les belles cartes géologiques à 1 : 1 000 000 et 1 : 2 000 000 publiées par le *Survey Department* d'Égypte en 1910.]

[3. Cette lacune tend à être comblée par les récentes découvertes paléontologiques du Dr E. Brumpt dans la vallée de l'Omo, au Nord du Lac Rodolphe, et de C. W. Andrews sur les bords du Victoria Nyanza (in Ém. Haug, *Traité de Géologie*, II, fasc. 3, 1911, p. 1727 et pl. CXXX); voir aussi F. Oswald, *The Miocene Beds of the Victoria Nyanza and the Geology of the Country between the Lake and the Kisii Highlands.* With an Appendix on the *Vertebrate Remains*, by C. W. Andrews, and on the *Non-Marine Mollusca*, by R. B. Newton (Quart. Journ. Geol. Soc., LXX, 1914, p. 128-198, pl. XX-XXX, dont 2 cartes géol.).]

de l'*Éocène moyen* (étage du Mokattam), la zone purement marine à *Nummulites gizehensis* est surmontée par des marnes blanches à Poissons et *Zeuglodon*. Vient ensuite une alternance de calcaires, marnes et grès contenant *Mœritherium*, *Barytherium*, de nombreux Mammifères marins, des Squales, etc. L'*Éocène supérieur* (étage bartonien) est fluvio-marin. C'est là qu'apparaissent l'étrange *Arsinoitherium* (fig. 413), le *Palæomastodon*, précurseur des Proboscidiens, et aussi, à côté de nombreuses formes inconnues ailleurs, *Hyænodon*, *Procyon* et quelques autres espèces peu nombreuses accusant des rapports avec la faune terrestre contemporaine de l'Europe, qui est bien loin, d'ailleurs, jusqu'ici, d'être représentée avec la même richesse. Là aussi, on a trouvé de nombreux Mammifères marins [1]. Dans le Fayoum, on rencontre ensuite d'autres dépôts fluvio-marins, et dans leur prolongement, près de Moghara, à 160 kilomètres à l'Ouest du Caire, Blanckenhorn a trouvé *Brachyodus* et *Rhinoceros*, et, plus tard, Beadnell a découvert un débris appartenant probablement à *Mastodon angustidens*. Ces fossiles sont associés à *Mytilus aquitanicus* et correspondent au début de la faune malaise. Pendant l'époque du IIe étage Méditerranéen se produit une transgression marine. Plus loin, dans l'Ouadi Natron, on a trouvé *Hipparion* aff. *gracile*, *Hippopotamus hipponensis*, *Sus*, *Hippotragus Cordieri*, *Samotherium* (ou *Libytherium*) et *Mastodon* sp., c'est-à-dire les représentants de l'*époque pontienne* de l'Europe, pendant laquelle le type africain apparaît aussi bien en Europe qu'en Asie [2]. Enfin, au Qasr el Sagha (Temple de Schweinfurth), dans l'ancienne extension du Lac Mœris, au Nord de l'extrémité orientale du Fayoum (fig. 414), Beadnell signale, en même temps que des silex

1. C. W. Andrews, *A Descriptive Catalogue of the Tertiary Vertebrates of the Fayûm, Egypt.* In-4°, XXXVII-324 p., 27 pl. London, British Museum, 1906. [Pour la stratigraphie de ces dépôts, consulter le beau mémoire de H. J. L. Beadnell, *The Topography and Geology of the Fayum Province of Egypt.* In-4°, 101 p., 10 fig., 24 pl. dont 2 cartes géol., 16 phot. et 6 coupes. Cairo, 1905 (Survey Dept., Egypt; renferme une bibliographie). — Pour la Paléontologie du Fayoum, voir en outre H. F. Osborn, *The Age of Mammals in Europe, Asia and North America.* In-8°, New York, 1910, p. 72-74 et 199-204; et les travaux suivants du même auteur : *The Fayûm Expedition of the American Museum* (Science, New York, new ser., XXV, 1907, p. 513-516); *New Fossil Mammals fram the Fayûm Oligocene* (Bull. Amer. Mus. Nat. Hist., New York, XXIV, art. XVI, 1908, p. 265-272, 6 fig.); *New Carnivorous Mammals from the Fayum Oligocene* (Ibid., XXVI, art. XXVIII, 1909, p. 415-424, 9 fig.).]

2. M. Blanckenhorn, *Neues zur Geologie und Paläontologie Aegyptens. III. Das Miocän* (Zeitschr. Deutsch. Geol. Gesellsch., LIII, 1901, p. 55, 101); C. W. Andrews, *Fossil Mammalia from Egypt* (Geol. Mag., Dec. 4, VI, 1899, p. 481-484, pl. XXIII, et VII, 1900, p. 401-403), et *A Descriptive Catalogue of the Tertiary Vertebrata of the Fayûm*, p. x et suiv.; E. Stromer signale également le genre *Brachyodus* à l'Ouadi Faregh (*Bericht über die Sammlungsergebnisse einer paläontologisch-geologischen Forschungsreise nach Ägypten*; Bericht Senkenberg. Naturforsch. Gesellsch., 1904, p. 112). [Voir aussi E. Stromer, *Die Topographie und Geologie der Strecke Gharaq-Baharîje, nebst Ausführungen über die geologische Geschichte Ägyptens.* In-4°, 78 p., 6 pl., 1 carte géol. München, 1914 (Abhandl. K. Bayer. Akad. Wiss., Math.-phys. Kl., XXVI, Abhandl. 11).]

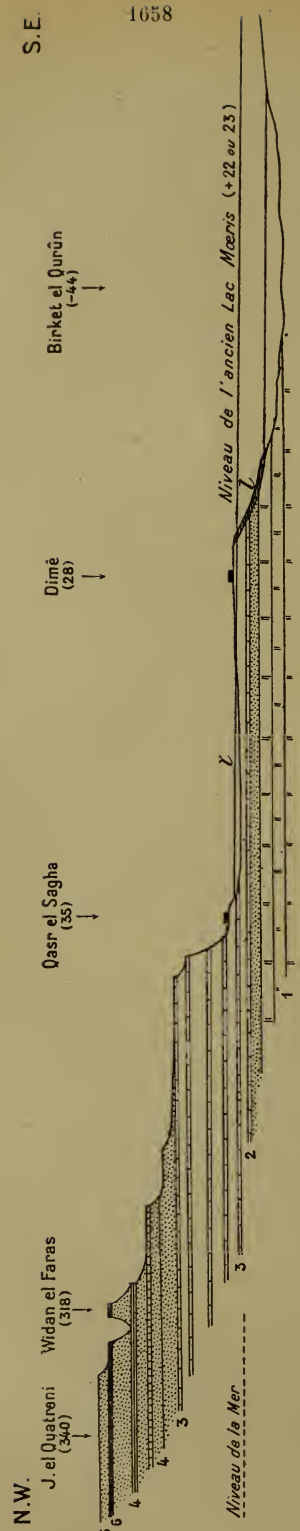


FIG. 414. — Coupe des formations tertiaires du Fayoum, d'après H. J. L. Beadnell (*The Topography and Geology of the Fayûm Province of Egypt*. In-4°, Cairo, 1905, pl. XXII).

Éocène moyen : 1. *Ravine Beds* (calcaires marins et marnes); 2. Série du Birket el Qirûn (marine) : grès, argiles et marnes sableuses (zone à *Zeuglodon*); 3. Série de Qasr el Sagha : calcaires, marnes, argiles, sables et grès (dépôts marins ou d'estuaire; zone à *Barytherium*; le sommet de cette série équivaut à l'horizon supérieur du Mokattam, près du Caire). — Éocène supérieur et Oligocène (série fluvio-marine) : 4. Sables et grès bigarrés, argiles et marnes à ossements de Vertébrés (zone à *Arsinoitherium*); 5. Grès à bois silicifiés; 6. Coulée de basalte, interstratifiée dans les couches précédentes. — Pleistocène : *l*. Argiles de l'ancien Lac Mœris. Échelle des longueurs 1 : 150 000; hauteurs 1 : 18 750.

néolithiques, *Elephas africanus*, *Hippopotamus* et *Bubalus*; c'est la *faune terrestre actuelle*, bien qu'aucun monument égyptien ne fasse mention de l'Éléphant [1].

Rappelons encore une fois que les appellations de faune « malaise » ou de faune « africaine » n'ont pas été choisies pour indiquer la patrie originelle, mais pour marquer l'affinité de ces faunes avec certaines faunes actuelles. En Afrique, un horizon malais s'intercale manifestement entre les gisements du Fayoum et la faune actuelle. Il n'est même pas certain qu'on ne trouve encore aujourd'hui des restes malais dans l'Afrique Occidentale [2]. Dans ce cas, le *Dryopithecus*

1. H. J. L. Beadnell, *Neolithic Flint Implements from the Northern Desert of the Fayûm, Egypt* (Geol. Mag., Dec. 4, X, 1903, p. 53-59, pl. III, IV); C. W. Andrews, *Notes on an Expedition to the Fayûm, with Descriptions of some new Mammals* (Ibid., p. 337-343); pour la succession des couches, en général, voir T. Barron, *On the occurrence of Lower Miocene Beds between Cairo and Suez* (Ibid., Dec. 5, I, 1904, p. 603-608).

2. Les vues de Wallace et de Lydekker sur de telles relations sont exposées dans l'ouvrage du second de ces naturalistes : *A Geographical History of Mammals*, p. 257. La faune de l'Afrique Occidentale, en suivant la grande forêt, s'étend jusqu'à la ligne de partage des eaux; c'est ce qui ressort de l'étude des matériaux envoyés par Emin Pacha; [Oldfield Thomas, *On a Collection of Mammals obtained by Emin Pasha in Equatorial Africa, and presented by him to the Natural History Museum*] (Proc. Zool. Soc. London, 1888, p. 3-16, pl. I, II).

anthropoïde de l'horizon de Saint-Gaudens (Depéret), lequel est provisoirement parallélisé avec l'étage sarmatique, indiquerait une relation entre l'Orang de Bornéo et le Gorille de l'Afrique Occidentale. La faune africaine comprendrait, là encore, un résidu malais analogue à l'îlot du Malabar.

4. Essayons de nous résumer, en nous complétant çà et là, et en nous rapprochant de la Caspienne.

a. Le genre *Brachyodus* apparaît à l'époque oligocène comme un survivant et, en même temps, le *Mastodon angustidens, précurseur de la faune malaise.* Cette faune est connue dans toute l'Europe Centrale, puis dans le Baloutchistan (Bugti) et à l'Ouest du Caire (Moghara). Dans les mers, faune méditerranéenne normale, de l'Europe Centrale et de l'Afrique du Nord, jusqu'en Asie Mineure et en Perse (Ier étage Méditerranéen = Burdigalien).

b. Première exclusion de la mer; dépôts de sel et de gypse, du Danube moyen jusqu'aux hautes terres de la Perse, jusqu'à Hormuzd et à Suez. Coquilles méditerranéennes, associées à des espèces endémiques (Schlier).

c. Sédiments fluvio-marins, lignites, puis transgression modérée à faune méditerranéenne normale dans l'Europe Centrale et Méridionale et dans l'Afrique du Nord. *Riche faune malaise de Mammifères* dans l'Europe Centrale et Méridionale, dans l'Afrique du Nord et sur l'Indus à Kushalgar (IIe étage Méditerranéen = Vindobonien inférieur et moyen = Helvétien + Tortonien).

d. Deuxième exclusion de la mer, qui est réduite à l'espace beaucoup plus restreint allant de la Basse-Autriche au-delà de la Mer d'Aral, en embrassant encore au Sud la Troade. Première apparition un peu nette des contours paléocaspiens qui, désormais, vont se contracter de plus en plus (fig. 416). La composition de l'eau n'est pas normale; nombreux Mammifères marins; Mollusques endémiques avec des restes de la faune méditerranéenne. Persistance de la faune terrestre malaise (étage sarmatique = Vindobonien supérieur = Sarmatien).

e. La faune terrestre malaise disparaît alors de toute la région. Elle subsiste encore aujourd'hui dans la péninsule malaise et loin vers l'Est; du Tenasserim, par la région trans-gangétique, elle s'étend jusqu'au pied de l'Himalaya; on la retrouve dans un district isolé sur la côte du Malabar et dans le Sud-Ouest de Ceylan, et peut-être aussi, à l'état résiduel, dans l'Afrique Occidentale. Partout, dans toute l'Europe Centrale et Méridionale, dans l'Afrique du Nord et l'Inde, elle est refoulée par une *faune africaine.* En Europe, l'époque sarmatique est immédiatement suivie par une période d'abaissement du niveau marin, et en même temps d'érosion; c'est alors, semble-t-il, que se produit

l'invasion de la faune africaine. Elle s'étend sur certaines parties de l'Europe, apparaît en Égypte (Ouadi Natron), atteint la Perse (Maragha), l'Inde (Siwaliks) et la Birmanie. Partout elle apparaît comme plus jeune que la faune malaise; mais, sur l'Iraouaddi, la faune malaise a repris possession plus tard d'un domaine qui, à l'époque tertiaire, avait nourri une faune africaine (Siwaliks).

Sur la surface érodée se dépose ensuite l'étage *méotien* d'Androussov.

Fig. 415. — Les bassins Pontique et Caspique à l'époque méotienne, d'après N. Androussov (figure extraite du *Traité de Géologie* d'Ém. Haug, II, fasc. 3. In-8°, Paris, 1911, p. 1683, fig. 452).

1-3. Couches à *Cardium pseudoedule* : 1. Bassin de la Biélaïa; 2. Bassin Bolgarique; 3. Bassin de Samara. — 4-12. Couches d'Aktchagyl : 4. Baie d'Outva; 5. Monts d'Indersk; 6. Vallée du Térek; 7. Faciès de Kertch du Soulak; 8. Samour; 9-10. Golfe de la Koura; 11. Détroit de Krasnovodsk; 12. Détroit du Balkan. — 13-19. Faciès de Kertch et couches à Congéries : 13. Serbie; 14. Golfe Dacique; 15. Bassin de Kherson; 16. Détroit de Crimée; 17. Bassin d'Azov; 18. Golfe de Soukoum; 19. Bassin Euxinique. — Échelle de 1 : 30 000 000.

Dans le Nord-Ouest de la Hongrie, il est représenté, comme l'a montré Hoernes, par une zone que caractérise *Melanopsis impressa*. Androussov pense que, dès cette époque, le domaine paléocaspien était divisé en plusieurs cuvettes [1] (fig. 415).

1. Pour les contours du bassin méotique dans le domaine caspien, voir N. I. Andrussov, *Bemerkungen über das Miocän der Kaspischen Länder* (Bull. Comité Géol. St.-Pétersbourg, XVIII, 1899, p. 339-369 (r. all.), à la fin); et surtout, du même, *Maeotische Stufe* (Verhandl.

Fig. 416. — Extension des mers dans la région pontique à l'époque sarmatienne, d'après N. Androussov (*Verhandl. der Russisch-K. Mineralog. Gesellsch. St. Petersburg*, 2. Ser., XXXIV, 1896, pl. V). Figure extraite du *Traité de Géologie* d'Ém. Haug, II, fasc. 3. In-8°, Paris, 1911, p. 1659, fig. 444.

Le trait brisé représente l'extension de la mer au moment du dépôt des couches de Tchokrak; le trait plein, l'extension de la Mer Sarmatienne. — D. Massif de la Dobrogea; K. Baie de la Konka. — Échelle de 1 : 15 000 000.

Les derniers avant-plissements de l'Himalaya et des chaînes du Zagros, l'effondrement du Golfe d'Oman et du Golfe Persique, la séparation de Ceylan, ainsi que l'ouverture de l'Isthme de Suez et l'effondrement égéen sont postérieurs à l'apparition des types africains. Des plissements post-pontiques, tout à fait récents, s'observent à l'extrémité des Balkans[1] et sur le bord des Carpathes Méridionales[2], ainsi qu'en Crimée[3]; des plissements sarmatiques longent le Caucase[4]. Toutefois, la bordure sarmatique (ou, ce qui revient au même, paléocaspienne) se continue en couches horizontales de la Bukovine à la Bessarabie; sa lisière extrême atteint Iékatérinoslav, puis le rivage septentrional de la Mer d'Azov, et enfin la Mer Caspienne au Nord du Manytch[5].

f. De grands lacs d'eau douce à faune endémique (*Cardium*, *Congeria*, *Melanopsis*) se forment dans la vallée du Danube; on en trouve également des traces en dehors du domaine sarmatique, par exemple sur le bas Rhône (étage pontien).

La carte des terrains tertiaires de la Roumanie par Sabba Stefanescu montre très clairement que, depuis l'extrême Ouest, presque depuis la percée du Danube, ces couches longent en bandes parallèles le pied des Carpathes, tout en formant un bassin qui se ferme à l'Ouest et s'ouvre vers le Sud[6].

Russisch-K. Mineralog. Gessellsch. St.-Petersburg, 2. Ser., XLIII, 1905, p. 289-449, pl. V et VI, dont 1 carte). [Voir aussi les publications suivantes du même géologue : *Die südrussischen Neogenablagerungen. Eine kurze Uebersicht* (Ibid., 2. Ser., XXXIV, 1896, p. 195-242, 2 fig. cartes, pl. V : carte; XXXVI, 1899, p. 101-170, 1 fig.; XXXIX, 1902, p. 337-495, 1 fig., pl. IX); *Beiträge zur Kenntniss des Kaspischen Neogen, I. Die Aktschagylschichten* (r. all., Mém. Comité Géol. St.-Pétersbourg, XV, n° 4, 1902, 153 p., 7 fig., 8 pl. dont 2 cartes); *II. Pontische Schichten der Schemachinischen Distriktes* (r., all.; Ibid., nouv. sér., n° 40, 1909, 177 p., 10 fig., 6 pl.); *Bericht über eine geologische Reise auf der Halbinsel Manghyschlak im Sommer 1907* (r., all.; Trav. Soc. Imp. Naturalistes St.-Pétersbourg, XXXV, n° 5, Section de Géol. et de Minér., 1910, p. 103-116); *Ueber das Alter und die stratigraphische Stellung der Akschagylschichten* (Verhandl. Russisch-K. Mineralog. Gesellsch., r. all. XLVIII, 1912, p. 271-296). La plupart de ces travaux sont résumés par Ém. Haug, *Traité de Géologie*, II, fasc. 3, 1911, p. 1682 et suiv.]. — Pour le Nord-Ouest de la Hongrie, voir R. Hoernes, *Die vorpontische Erosion* (Sitzungsb, K. Akad. Wiss. Wien, Mathem.-naturwiss. Cl., CIX, 1900, Abth. 1, p. 811-857).

[1. Voir III, 2e partie, p. 557.]

[2. Ibid., p. 565-568.]

[3. I, p. 629, et fig. 92, 93; III, 2e partie, p. 551.]

[4. L'un de ces anticlinaux post-sarmatiques, jalonné par les importants gîtes pétrolifères de Grozny, est décrit en détail par K. Kalickij, *Das Naphtagebiet von Groznij* (r., all.; Mém. Comité Géol. St.-Pétersbourg, nouv. sér., livr. 24, 1906, 40 p., 3 pl. coupes, 3 cartes en 6 feuilles). — Voir aussi W. Staub, *Tektonische Beobachtungen am Westufer des Kaspischen Meeres* (Vierteljahrschr. Naturforsch. Gesellsch. Zürich, LVIII, 1913, p. 293-309, pl. III, IV : coupes et carte tectonique).]

5. Voir I, p. 611, fig. 89; je m'appuie sur un croquis de N. A. Sokolov, joint à son mémoire : *Sur l'histoire des steppes près de la Mer Noire* (r., rés. fr.; Potchvoviedienié (La Pédologie), VI, 1904, p. 105-124, 197-220, 1 pl.).

6. Sabba Stefanescu, *Étude sur les terrains tertiaires de Roumanie. Contribution à l'étude stratigraphique.* In-4°, 178 p., 1 carte géol., Lille, 1897. [Thèse Faculté des Sc., Paris; et : *Études sur les terrains tertiaires de la Roumanie. Contribution à l'étude des faunes sarmatique, pontique et levantine* (Mém. Soc. Géol. de France, Paléontologie, n° 15, 1896, 147 p.,

Si l'on en rapproche la carte des terrains méotiques et pontiques qu'a dressée Androussov, on se trouve en présence d'une vaste nappe d'eau qui rejoint au Nord la bordure sarmatique, pour s'avancer ensuite vers le Manytch, et d'une autre nappe d'eau qui figure une Mer Caspienne extraordinairement étendue du côté du Nord. Au Sud-Est de la Mer Noire, dans la région de Koutaïs, des dépôts pontiques ont été également reconnus par Mikhaïlovski et Weber[1].

g. L'isolement des bassins s'accentue; toutefois, dans le Sud de la Bessarabie, des sables contenant *Cardium semisulcatum*, *C. novorossicum*, *Unio maximus* et d'autres formes caractéristiques des calcaires des steppes d'Odessa, renferment encore *Mastodon longirostris*, *Hipparion gracile*, et d'autres espèces de la faune terrestre africaine[2].

h. L'étage levantin, qui correspond, en Roumanie, en Hongrie et en Autriche, à l'horizon du *Mastodon arvernensis*, paraît être faiblement représenté dans le domaine plus restreint qui va de la Mer Noire à la Mer d'Aral[3]. Cette espèce est signalée au Sud-Ouest de Taganrog, et l'on mentionne avec doute des coquilles levantines à Koutaïs.

i. L'*invasion de la faune holarctique* refoule alors la faune africaine; toutefois, l'identité de l'*Elephas namadicus* et de l'*Elephas antiquus*, établie par Pohlig, montre que certains grands animaux terrestres de la faune africaine ont continué pendant fort longtemps à vivre en Europe et dans l'Inde. Si l'on compare les descriptions données par Pilgrim de la faune des alluvions du Godavari et de celle des cavernes de Karnul sur la Kistna, où l'on trouve encore *Manis*, avec la série stratigraphique des grottes de Grimaldi (Monaco), établie par Boule, on voit que l'Homme, en Europe comme dans l'Inde, a été témoin de cette extension[4]. En Europe, elle se poursuit jusqu'à la phase interglaciaire du Chelléen. Il subsiste encore aujourd'hui plus d'un reste de la

5 fig., 11 pl.). — Voir aussi W. Teisseyre. *Beiträge zur neogenen Molluskenfauna Rumäniens, mit besonderer Berücksichtigung der Erdölgebiete der Subkarpaten* (Anuarul Instit. Geol. al României, I, 1907, p. 215-261, pl. I-XI), et *Ueber die maeotische, pontische und dacische Stufe in den Subkarpaten der östlichen Muntenia, Allgemeiner Teil* (Ibid., II, 1908, p. 283-330, 2 tableaux, 1 carte géol.).]

1. G. Mikhailowsky, *Das Pliocän einiger Gegenden des westlichen Kaukasus* (Verhandl. Russisch-K. Mineralog. Gesellsch. St.-Petersburg, 2. Ser., XL, 1903, p. 129-177; r., all.).

2. P. Wenjukow, *Eine unterpliocäne Säugethierfauna in den Sanden der südlichen Bessarabien* (Verhandl. Russich-K. Mineralog. Gesellsch. St.-Petersburg, 2. Ser., XXXIX, 1902, p. 1-33, pl. I; r., all.).

[3. N. Andrussow, *Spuren « Levantinischer » Ablagerungen in Südrussland* (Centralbl. f. Min., 1906, p. 413-415).]

4. H. Pohlig, *Dentition und Kranologie des* Elephas antiquus *Falc.* (Nova Acta Acad. Naturæ Curiosorum, Halle, LVII, 1892, p. 276 et 337); G. E. Pilgrim, *On the Occurrence of Elephas antiquus* (*Namadicus*) *in the Godavari Alluvium, with Remarks on the Species, its Distribution and the Age of the associated Indian Deposits* (Records Geol. Survey of India, XXXII, 1905, p. 199-218, pl. 9-13); *Les Grottes de Grimaldi* (*Baoussé-Roussé*), I. Fasc. 2, *Géologie et Paléontologie*, par M. Boule. In-4°, Monaco, 1906, p. 73-156, pl. I-XIII [cet ouvrage renferme un grand nombre de cartes montrant l'aire d'extension des principales espèces].

faune africaine dans le Sud de l'Europe[1]; dans l'Inde, des restes analogues pénètrent dans la faune de la région cis-gangétique, où ils forment l'élément arien[2].

j. Nous sommes arrivés à l'*époque glaciaire*. C'est dans la vallée du Dniepr que la glace s'est avancée le plus loin, jusque vers 48° 50′. La Volga offre un débouché spacieux aux eaux de fusion qu'elle conduit à la Caspienne. Désormais, il sera possible d'éclairer la question par l'étude des conditions hydrographiques actuelles. Nos guides seront, outre les nombreux travaux souvent cités d'Androussov, deux autres mémoires excellents, celui de Sokolov sur le liman du Mious près de Taganrog et la monographie de la Mer d'Aral due à Berg[3].

Le niveau de la Mer Noire se trouve aujourd'hui au voisinage du zéro, celui de la Caspienne à — 25,4 m.[4] et celui de la Mer d'Aral à + 50 mètres.

La faune de Cardiums de la Caspienne (*Didacna trigonoides*, *Adacna plicata*, etc.) doit être distinguée nettement des Cardiums apparentés des faunes levantine et pontique. Elle existe dans les trois mers à l'état fossile, mais on ne la connaît vivante que dans la Caspienne.

Les couches qui la contiennent se trouvent à la même altitude sur la Mer d'Aral et sur la Caspienne, à 4 mètres au-dessus de la Mer d'Aral actuelle et à près de 80 mètres au-dessus de la Mer Caspienne[5]. A l'époque où les rivages atteignaient cette altitude, les deux

[1. Voir R. F. Scharff : *The History of the European Fauna*. In-8°, VII-364 p., 21 fig., London, 1899 (The Contemporary Science Series); et *European Animals : their Geological History and Geographical Distribution*. In-8°, XIV-258 p., 70 fig., London, 1907 (bibliographie).]

[2. Voir ci-dessus, p. 1653.]

3. N. Sokolow, *Der Mius-Liman und die Entstehungszeit der Limane Sud-Rüsslands* (Verhandl. Russ. K. Mineralog. Gesellsch., 2. Ser., XL, 1903, p. 35-112, pl. I, II : cartes); L. S. Berg, *Der Aral-See. Versuch einer physisch-geographischen Monographie* (Wissenschaftl. Resultate der Aralsees-Expedition ausgerüstet von der Turkestan. Abteil. der Kais. Russischen Geogr. Gesellschaft, Lief. 9; Isviestiia Section du Turkestan Soc. Imp. Russe de Géogr. In-8°, XXIII-580 p., 78 fig., 8 pl. dont 4 cartes, St.-Pétersbourg, 1908). [Résumé par A. Woeikow : *Der Aralsee und sein Gebiet nach den neuesten Forschungen* (Petermanns Mitteil., LV, 1909, p. 82-86, pl. 8, contenant 2 cartes), et *Le Turkestan Russe*. In-8°, Paris, 1914, chap. VII, p. 89-106.] Les cotes d'altitude sont indiquées d'après les nivellements les plus récents (voir le t. I du présent ouvrage, p. 442). Le niveau de la Mer d'Aral a oscillé, pendant l'été 1901, de + 49,3 à 50,28 m. — Les textes relatifs à cette région remontent jusqu'à Hérodote. Au début du XIXe siècle, Pallas a reconnu, avec une perspicacité remarquable, un grand nombre de traits. De nombreuses publications sont venues ensuite, notamment, en 1890, les études d'Ed. Brückner sur les oscillations anciennes : *Klima-Schwankungen seit 1700. Nebst Bemerkungen über die Klima-Schwankungen der Diluvialzeit* (Geogr. Abhandl. hersg. von A. Penck, IV, n° 2). La dernière est probablement l'étude d'Ellsworth Huntington, *The Pulse of Asia A Journey in Central Asia illustrating the Geographic Basis of History*. In-8°, XXI-415 p., 46 pl. et 2 cartes, London, Boston and New York, 1907. [Voir aussi A. Hermann, *Die alte Verbindung zwischen dem Oxus und dem Kaspischen Meer* (Petermanns Mitteil., LIX, 1913-II, p. 70-75, pl. 14 : carte); Observations de V. Obroutchev et J. Walther (Ibid., LX, 1914-I, p. 20, 22, 87).]

[4. Voir l'article de J. de Schokalsky, *Une dénivellation récente et brusque du niveau de la mer Caspienne* (Annales de Géogr., XXIII, 1914, p. 151-159, 6 fig.).]

[5. Sur les anciens rivages du bassin de la Caspienne et leurs modifications, voir :

lacs communiquaient, à l'Est et au Sud du plateau d'Oust-Ourt qui les sépare, par l'Ousboi et le Sary Kamych[1]. La Mer Caspienne communiquait de quelque manière avec la Mer Noire par le Manytch. Celle-ci ne se trouvait cependant que de quelques mètres au-dessus de son altitude actuelle. Des influences climatiques amènent alors un abaissement général des niveaux. Les lacs se séparent. Le Manytch cesse de couler; la Mer Noire continue à s'abaisser, jusqu'à 30 ou 40 mètres au moins au-dessous de son niveau actuel. Les embouchures de ses tributaires s'allongent. Les Dardanelles s'ouvrent[2]; les eaux salées de la Méditerranée pénètrent dans la Mer Noire, élèvent le niveau jusqu'à 0, ennoyent les embouchures des fleuves (limans, dont l'existence avait été considérée comme une preuve d'affaissement continental[3]) et tuent la faune caspienne de Cardiums dans la Mer Noire.

La *Caspienne*, de son côté, continue à s'abaisser, mais la ligne de partage nouvellement apparue du côté de la Mer d'Aral devient le déversoir imparfaitement délimité de l'Amou-Daria, lequel, n'ayant pas été en état de se creuser un lit normal, se jette dans la Caspienne par deux bras principaux. La *Mer d'Aral*, complètement isolée, commence à devenir salée. Cependant l'Amou-Daria verse à la Mer d'Aral des quantités d'eau de plus en plus grandes; et ce n'est guère que très récemment, d'après les anciennes cartes russes depuis le XVIe siècle seulement, qu'il porte toutes ses eaux à la Mer d'Aral. Depuis lors, la Caspienne a peut-être bien encore baissé, tandis que la Mer d'Aral se remplissait et devenait presque douce; elle continue à s'élever, semble-t-il, aujourd'hui encore.

Les couches à Cardiums caspiens sont associées, sur la Mer d'Azov et jusqu'au Dniestr, à *Elephas antiquus* et *Rhinoceros Mercki*[4], c'est-à-

Hj. Sjögren, *Ueber das diluviale, aralokaspische Meer und die nordeuropäische Vereisung* (Jahrb. K. K. Geol. Reichsanst., Wien, XL, 1890, p. 51-76); N. Andrussow, *Ueber die ehemaligen Uferlinien des Kaspischen Meeres* (r., all.; Annuaire Géol. et Minéralog. de la Russie, IV, 1900, p. 3-10, 2 fig.); W. M. Davis, *A Journey across Turkestan* (dans l'ouvrage : *Explorations in Turkestan, with an Account of the Basin of Eastern Persia and Seistan. Expedition of 1903, under the Command of* R. Pumpelly; Carnegie Institution of Washington, Publ. n° 26. In-4°, Washington, 1905), p. 24-36 : « The Caspian Region ».]

[1. Sur cette communication, voir t. I, p. 623, note 2.]

[2. Voir N. Andrussow, *Bosporus und Dardanellen* (Annuaire Géol. et Minéralog. de la Russie, XII, 1910, p. 189-207; r., all.). — Sur l'ancienneté du sillon *transégéen* qui, aux âges tertiaires, faisait communiquer le bassin de la Méditerranée avec celui de la Mer Noire, à peu près suivant l'emplacement des Dardanelles, consulter les travaux de N. Arabu : *Études sur les formations tertiaires du bassin de la Mer de Marmara. Synthèse des données relatives au Néogène; le moment d'apparition du sillon de la Mer de Marmara* (C. R. Acad. Sc., Paris, CLX, 1915, 1er sem., p. 603-605); *Sur la distribution des faciès dans les différents étages du Tertiaire; aperçu sur la tectonique de la région* (Ibid., p. 637-639).]

[3. Cette hypothèse est maintenue, encore aujourd'hui, par N. Androussov (voir l'étude citée dans la note précédente).]

[4. Marie Pavlow, *Sélénodontes post-tertiaires de la Russie* (Mém. Acad. Imp. Sc., St.-Pé-

dire à la faune que l'on vient de mentionner comme appartenant à la phase interglaciaire du Chelléen. Dans les grottes de Grimaldi, elle est associée à l'Hippopotame; toutefois on voit apparaître ici, à côté de ces grands animaux africains, le Cheval, le Chevreuil, et d'autres espèces holarctiques, ainsi que l'Homme. Cette faune saumâtre à Cardiums a été tuée dans la Mer Noire par l'irruption des eaux salées de la Méditerranée, et dans la Mer d'Aral soit par l'augmentation de la salure, soit plus tard par les eaux douces de l'Amou. Elle continue à vivre isolée dans la Caspienne. Les Phoques de la Caspienne sont peut-être associés à cette même faune; il existe, dans les couches sarmatiques et pontiques, des Phoques très voisins, et il n'est pas nécessaire de leur supposer une origine arctique. Quant à la faune d'eau douce de cette époque, elle a subsisté dans les rivières et en partie dans les lacs. L'Aral n'a peut-être été repeuplé qu'à une époque récente[1] par des Poissons venus des rivières. La Carpe a même pu, profitant des hautes eaux, pénétrer par le Syr-Daria dans le Tchou et l'Issyk-Koul. Des Mysidés caspiens semblent avoir pénétré par la Volga jusqu'à Iaroslavl, à 12 degrés de latitude de l'embouchure actuelle. On s'explique aisément que tant de Poissons soient communs au Danube et aux fleuves asiatiques, et qu'après de telles vicissitudes la faune de l'Aral soit pauvre. Cependant, quelques nouvelles variétés et espèces endémiques commencent à s'y montrer. Des formes totalement étrangères et probablement encore beaucoup plus vieilles sont deux espèces de *Scaphirhynchus*, sorte d'Esturgeon qui vit dans l'Amou-Daria, ce fleuve fermé depuis longtemps à toute immigration nouvelle. Leurs plus proches parents vivent dans l'Amérique du Nord.

k. Sokolov estime que le *lœss* à *Elephas primigenius* est, au moins en partie, antérieur à l'ennoyage des limans, et par conséquent à l'ouverture des Dardanelles. Il attribue au climat sec qui, à la fin de l'époque glaciaire, donna naissance au lœss, le retrait des nappes lacustres. Quoi qu'il en soit, cette période ne semble pas encore terminée. Elle se décèle non seulement sur la Caspienne, mais sur la Mer Morte[2], sur le Lac Rodolphe[3], tout autour du Grand Lac Salé de

tersbourg, 8e sér., XX, 1906, p. 1-95, 8 pl.); *Les Eléphants fossiles de la Russie* (Nouv. Mém. Soc. Imp. Naturalistes, Moscou, XVII, n° 2, 1910, 57 p., 3 pl.).]

[1. W. Meissner, *Das Plankton des Aralsees und der einmündenden Flüssen und seine vergleichende Charakteristik* (Biol. Centralbl., XXVII, 1907, p. 587-604, 1 carte) : « C'est une mer d'origine récente et dont tous les habitants sont, non pas relictaux, mais immigrés » (P. de Beauchamp, dans *L'Année biologique* de Y. Delage, 12e année, 1907, p. 414-415).]

[2. II, p. 724-729, fig. 121 et 122. Voir aussi M. Blanckenhorn, *Syrien, Arabien und Mesopotamien*. In-8°, 159 p., 12 fig., 4 pl. cartes, Heidelberg, 1914 (Handbuch der Regionalen Geologie, hersg. von G. Steinmann und O. Wilckens (V. Bd., IV, Abt., 17. Heft); copieuse bibliographie).]

[3. III, 3e partie, p. 983, et fig. 224, p. 985.]

l'Utah[1], sur le Lac Titicaca[2], en un mot sur les lacs sans écoulement des régions les plus éloignées. Les récentes explorations françaises dans le Sahara donnent à penser que, même à l'époque historique, le desséchement des Oueds n'était pas aussi avancé qu'aujourd'hui. Il est vrai que là intervient l'action mortelle des sables[3]. On a trouvé des outils de pierre dans les alluvions anciennes du Baringo, et le désert du Kalahari a connu, avant le régime actuel, une époque humide[4]. L'effet de la sécheresse sur la végétation et, par là, sur la faune, doit être considérable. En fait, les Édentés de l'Amérique du Sud sont devenus plus petits, ainsi que les Lémuriens de Madagascar et les Mammifères aplacentaires de l'Australie. Wallace arrive à cette conclusion que nous vivons dans un monde appauvri.

[1. I, p. 786; II, fig. 116, p. 692, 693, et fig. 128, p. 860.]

[2. III, 3e partie, p. 1306, note 2.]

[3. E.-F. Gautier, *Études sahariennes* (Annales de Géogr., XVI, 1907, p. 46-69, 117-138, pl. I : carte, III et III *bis* : phot.); et *Missions au Sahara. I. Sahara Algérien.* In-8°, Paris, 1908, p. 20-59, chap. II : « Les Oueds et les Dunes »; c. r. critique par Aug. Bernard, Annales de Géogr., XIX, 1910, p. 266-270. Voir aussi l'ouvrage de S. Gsell, *Histoire ancienne de l'Afrique du Nord*, I. In-8°, Paris, 1913, p. 40-99 et le mémoire du même auteur : *Le climat de l'Afrique du Nord dans l'Antiquité* (Revue Africaine, Alger, LV, 1911, p. 343-410). Consulter en outre : J. Lahache, *Le desséchement de l'Afrique française est-il démontré?* (Bull. Soc. Géogr. et Études Coloniales, Marseille, XXXI, 1907, p. 149-185, 1 carte); H. Leiter, *Die Frage der Klimaänderung während geschichtlicher Zeit in Nordafrika* (Abhandl. Geogr. Gesellsch. Wien, VIII, n° 1, 1909, 143 p., 1 pl.).]

4. J. W. Gregory, *The Great Rift Valley*. In-8°, London, 1896, p. 324; S. Passarge, *Klimatischen Verhältnisse Süd-Africas seit dem mittleren Mesozoicum* (Zeitschr. d. Gesellsch. f. Erdkunde, Berlin, 1904, p. 176-193, cartes). [Voir aussi le grand ouvrage de S. Passarge, *Die Kalahari. Versuch einer physisch-geographischen Darstellung der Sandfelder des südafrikanischen Beckens*. In-4°, XVI-823 p., 21 pl. et cartes, Berlin, 1904; compte rendu critique, par A. Demangeon, Annales de Géogr., XV, 1906, p. 43-58. — Sur cette question du desséchement récent d'une partie des continents, consulter : P. Kropotkin, *The Dessication of Eur-Asia* (Geogr. Journ., London, XXIII, 1904, p. 722-741); Ellsw. Huntington, *The Rivers of Chinese Turkestan and the Dessication of Asia* (Ibid., XXVIII, 1906, p. 352-367, 1 carte); L. Berg, *Ist Zentral-Asien im Austrocknen begriffen?* (Geogr. Zeitschr., XIII, 1907, p. 568-579); Ellsw. Huntington, *The Climate of the Historic Past* (Monthly Weather Review, XXXVI, 1908, p. 359-364, 446-450); B. E. F. Keeling, *Climate Changes in Égypt* (Cairo Scientific Journ., III, 1909, p. 7-10, 86-88, 1 pl.); J. de Schokalsky, *Le niveau des lacs de l'Asie Centrale Russe et les changements de climat* (Annales de Géogr., XVIII, 1909, p. 407-415, 6 fig.); W. F. Hume, *Climatic Changes in Egypt during post-glacial Times* (dans l'ouvrage : *Die Veränderungen des Klimas seit dem Maximum der letzten Eiszeit*. In-8°, Stockholm, 1910, p. 421-424); M. Blanckenhorn, *Das Klima der Quartärperiode in Syrien-Palästina und Ägypten* (Ibid., p. 425-428); Sven Hedin, *Some Physico-Geographical Indications of Post-Pluvial Climatic Changes in Persia* (Ibid., p. 431-437); Ellsw. Huntington, *The Burial of Olympia* (Geogr. Journ., XXXVI, 1910, p. 657-686, 2 pl.), et *The fluctuating Climate of North America* (Ibid., XL, 1912, p. 264-280, 392-411, 3 fig., 6 pl. phot.); F. Herbette, *Le problème du desséchement de l'Asie intérieure* (Annales de Géogr., XXIII, 1914, p. 1-30); L. Berg, *Das Problem den Klimaänderung in geschichtlicher Zeit* (Geogr. Abhandl., hrsg. von A. Penck, X, Heft 2. In-8°, 70 p., Leipzig, 1914); J. W. Gregory, *Is the Earth drying up?* (Geogr. Journ., XLIII, 1914, p. 148-172, 293-318, 3 fig., 1 pl. cartes; renferme, p. 308-313, une abondante bibliographie); Ellsw. Huntington, *The Climatic Factor as illustrated in Arid America*. In-4°, VII-341 p., 90 fig., 14 pl. Washington, 1914 (Carnegie Institution of Washington, Publication n° 192); A. Woeikof, *Le Turkestan Russe*. In-8°, Paris, 1914, chap. VIII, p. 107-116.]

IV

L'apparition des Mammifères placentaires. — Effets du déplacement vertical des rivages. Émersion à la limite du Jurassique et du Crétacé. — Le Lac de Laramie. — Premières faunes éocènes : étages de Puerco et de Torrejon, leurs équivalents aux environs de Reims. — Influence des mouvements eustatiques sur l'évolution des organismes.

L'apparition des Mammifères placentaires. — Toutes sortes d'opinions *a priori* se sont fait jour sur les conséquences qui résultent d'un mouvement vertical du rivage. Des savants éminents ont même soutenu l'opinion étrange qu'il n'y aurait sédimentation que « pendant les affaissements », c'est-à-dire aux époques de mouvements positifs. Mais les circonstances sont si différentes, suivant les cas, que ce n'est que par l'observation et la comparaison qu'on peut espérer atteindre le but. La comparaison est rendue difficile par le fait qu'elle doit embrasser des étendues très vastes, avant même qu'on puisse résoudre cette première question : s'agit-il d'un mouvement eustatique général, ou d'un mouvement causé par des phénomènes de gravitation, ou d'un déplacement local du rivage, dû à des causes tectoniques?

Il ne manque pas de coupes de plages qui indiquent la succession des couches marines et permettent quelques conclusions sur la faune marine; nous en avons cité un exemple détaillé, relatif à l'époque rhétienne, et montrant les effets d'un mouvement positif interrompu par des intercalations d'origine terrestre (II, p. 432). Mais il existe peu de coupes de ce genre montrant en même temps l'apparition d'une faune de Mammifères terrestres; encore n'indiquent-elles souvent qu'un accident quelconque, sans rapport avec un déplacement du rivage, comme ayant déterminé l'intercalation.

Les mouvements négatifs qui ont séparé le Jurassique du Crétacé ont commencé dès le Jurassique. Le Jurassique du Nord de la Suisse montre clairement que la faune marine commence à s'appauvrir; l'alternance de restes de forêts, de dépôts d'eau douce et de dépôts marins dans la presqu'île de Purbeck est le témoignage des oscillations. On peut en dire autant des couches à *Atlantosaurus* des Black Hills du Dakota, de leur dénudation par les eaux courantes, et de l'intercalation, dans les sillons ainsi creusés, de bancs charbonneux contenant la flore du Potomac [1]. La lithosphère s'affaisse, fragments par fragments, dans des régions peut-être très éloignées; le niveau des mers, au

[1. Voir l'exposé de H. F. Osborn, *Close of Jurassic and Opening of Cretaceous Time in North America* (Bull. Geol. Soc. of America, XXVI, 1915, p. 295-302), et le « symposium » qui l'a suivi : art. de W. T. Lee, C. C. Mook, R. S. Lull, E. W. Berry, T. W. Stanton (Ibid., p. 303-348).]

contraire, s'abaisse par mouvement eustatique; la végétation s'avance et s'efforce de prendre possession du sol exondé.

C'est d'une manière analogue que s'est formé, dans l'Amérique du Nord, vers la fin de l'époque crétacée, le lac saumâtre de Laramie[1]; or,

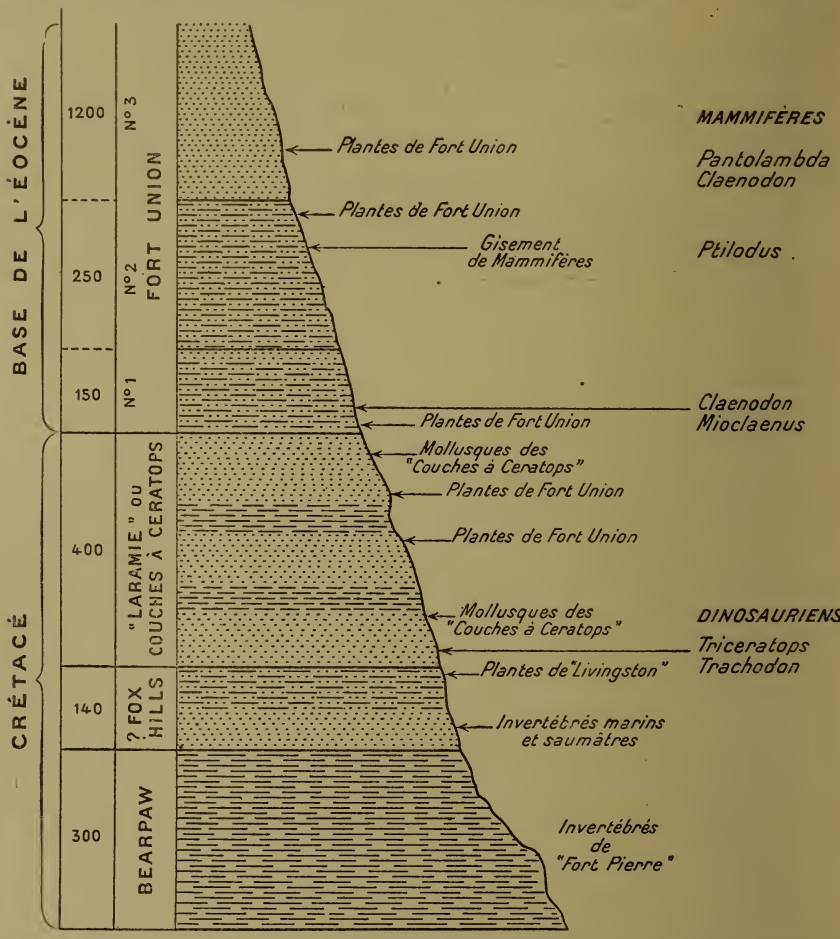


Fig. 417. — Transition de l'Age des Reptiles à l'Age des Mammifères. Coupe au Nord-Est des Crazy Mountains (Montana), d'après H. F. Osborn (*The Age of Mammals in Europe, Asia and North America*. In-8°, New York, 1910, p. 101, fig. 25).

Échelle des hauteurs 1 : 12 500. Épaisseurs en mètres.

au Nouveau-Mexique, dans le domaine du Rio Puerco, on voit affleurer au-dessus du Laramie et au-dessous de l'étage éocène de Wasatch, une série de couches contenant les plus anciens restes connus de Mammifères placentaires (fig. 417). On remarque de même, en Europe, que les horizons

[1. Il semble que les dépôts réunis jusqu'à présent sous le nom de *Couches de Laramie* appartiennent en réalité à des horizons différents, dont l'attribution, tantôt au sommet de la série crétacée et tantôt à la base de la série éocène, n'est pas encore définitivement

supérieurs du Crétacé, le Danien et le Montien, possèdent une extension moindre que le Sénonien. Les marnes de Meudon, les sables de Rilly et de Bracheux, le calcaire d'eau douce de Rilly, les lignites et l'argile plastique traduisent les oscillations de la limite dans le Bassin de Paris.

Dans les régions où la mer crétacée était plus profonde, les choses se sont passées différemment. En Istrie et en Dalmatie, on voit s'intercaler à la base de l'Éocène marin, près de la limite du Crétacé, des couches lacustres à Mollusques terrestres et d'eau douce tropicaux, qui constituent l'étage *liburnien* de Stache [1].

Dans le Sahara Oriental, la mer était encore plus profonde : l'Éocène marin y repose sur le Crétacé marin.

Dans le Nouveau-Mexique, les restes de Mammifères de la base de l'Éocène se rencontrent dans l'étage de Puerco et, à quelques centaines de pieds plus haut, dans un deuxième horizon, l'étage de Torrejon. C'est Cope qui les a signalés le premier; puis Wortman et Matthew ont fait faire de sérieux progrès à leur étude [2]. Aucune espèce

fixée; T. C. Chamberlin and R. D. Salisbury, *Geology*. In-8°, New York, III, 1906, p. 152-159; Ém. Haug, *Traité de Géologie*, II, fasc. 3, 1911, p. 1413-1414; Bailey Willis, *Index to the Stratigraphy of North America* (U. S. Geol. Survey, Professional Paper 71). In-4°, Washington, 1912, p. 637-705; Whitman Cross, *The Laramie Formation and the Shoshone Group* (Proc. Washington Acad. Sc., XI, 1909, p. 27-45); F. H. Knowlton, *The Stratigraphical Relations and Paleontology of the « Hell Creek Beds »*, *« Ceratops Beds » and Equivalents, and their Reference to Fort Union Formation* (Ibid., p. 179-238); T. W. Stanton, *The Age and Stratigraphic Relations of the « Ceratops Beds » of Wyoming and Montana* (Ibid., p. 239-293). La question s'est encore compliquée par la découverte, dans le Colorado, de Dinosauriens dans des dépôts tertiaires authentiques : W. T. Lee, *Recent Discovery of Dinosaurs in the Tertiary* (Amer. Journ. of Sc., 4th ser., XXXV, 1913, p. 531-534). Voir aussi H. F. Osborn, *Close of the Cretaceous and Opening of Eocene Time in North America* (Bull. Geol. Soc. of America, XXV, 1914, p. 321-324), et les articles de F. H. Knowlton, T. W. Stanton, Barnum Brown et W. D. Matthew, insérés à la suite de cette étude (Ibid., p. 325-402).]

1. G. Stache, *in* F. Sandberger, *Die Land- und Süsswasser-Conchylien der Vorwelt*. In-4°, Wiesbaden, 1870-1875, p. 120-139; et son mémoire *Die Liburnische Stufe und deren Grenzhorizonte. Eine Studie über die Schichtenfolgen der cretaceisch-eocänen oder protocänen Landbildungsperioden in Bereiche der Küstenländer von Oesterreich-Ungarn*, I (Abhandl. K.K. Geol. Reichsanst., XIII, 1889, 170 p., 7 pl. et 1 carte).

2. E. D. Cope, *Synopsis of the Vertebrate Fauna of the Puerco Series* (Trans. Amer. Phil. Soc. Philadelphia, New Ser., XVI, 1890, p. 298-361, pl. IV, V); J. L. Wortman, *The Ganodonta and their Relationship to the Edentata* (Bull. Amer. Mus. Nat. Hist., New York, IX, 1897, p. 59-110, 36 fig.); W. D. Matthew, *A Revision of the Puerco Fauna* (Ibid., p. 259-323, 20 fig.); l'étage de Torrejon a été également retrouvé dans le Montana; E. Douglass, *A Cretaceous and Lower Tertiary Section in South-Central Montana* (Proc. Amer. Phil. Soc., XLI, 1902, p. 207-224, pl. XXIX). [Voir aussi H. F. Osborn, *The Age of Mammals in Europe, Asia and North America*. In-8°, New York, 1910, p. 104-111; et les mémoires suivants du même auteur : *Ten Years Progress in the Mammalian Palæontology of North America* (C. R. 6e Congrès Internat. de Zool., Berne, 1904, p. 86-113, 7 fig., 15 pl.; Amer. Geologist, XXXVI, 1905, p. 199-229); *Tertiary Mammal Horizons of North America* (Bull. Amer. Mus. Nat. Hist., New York, XXIII, art. XI, 1907, p. 237-253, 2 fig., 1 pl.); *Cenozoic Mammal Horizons of Western North America, with faunal Lists of the Tertiary Mammalia of the West*, by W. D. Matthew (U. S. Geol., Survey, Bull. 361, 1909, p. 1-138, 15 fig., 3 pl.; renferme une bibliographie détaillée, p. 9-18); *Ten Years' Progress in Vertebrate Paleontology. Correlation and Paleogeography* (Bull. Geol. Soc. of America, XXIII, 1912, p. 232-256, 11 fig.; bibliographie).]

n'est commune aux deux niveaux, mais le degré de développement général est analogue. La plupart des animaux sont petits. Les arboricoles prédominent d'une manière frappante. Les Multituberculés (*Allotheria*) appartiennent aux Monotrèmes et aux Marsupiaux, et se présentent comme un legs des temps mésozoïques. Les Primates (Lémuriens), les Carnivores créodontes, les Rongeurs(?) et les Ongulés sont représentés par des types primitifs peu différenciés, et les doigts des Ongulés sont encore séparés; mais on voit apparaître en même temps, dans la famille des Ganodontes, des représentants des Édentés, qui témoignent d'une spécialisation si accentuée, par rapport à celle des autres Mammifères placentaires, que Wortman leur attribue des ancêtres mésozoïques.

Lemoine a retrouvé l'horizon de Torrejon, au-dessus des calcaires de Rilly, à Cernay près de Reims. Les Multituberculés y sont également présents, et associés comme dans le Nouveau-Mexique à des Lémuriens, à des Carnivores et à des Ongulés également peu différenciés, et aussi à de grands Oiseaux semblables à des Autruches.

Dans le Nouveau-Mexique, les assises qui contiennent ces faunes sont intercalées dans des sédiments puissants; le niveau de Torrejon, en particulier, ne forme qu'une seule couche, d'une très faible épaisseur. Auprès de Reims, Priem décrit le gisement comme une alternance de couches littorales dans lesquelles des Poissons d'eau douce, les genres *Amia* et *Lepidosteus* par exemple, sont associés à des Siluridés et à des Labridés. C'est aux mêmes couches alternantes qu'appartient aussi la riche flore de Sézanne, qui indique un climat plus chaud[1].

Nous voyons donc, d'abord, que la plus ancienne faune connue de Mammifères placentaires est accompagnée de restes mésozoïques, et que, comme le prouve l'existence des Ganodontes, elle ne renferme pas les Placentaires primitifs; deuxièmement, qu'il s'agit d'enfouissement fortuit en temps de crue, — peut-être des forêts ont-elles été

1. Lemoine, *Étude d'ensemble sur les Dents des Mammifères fossiles des Environs de Reims* (Bull. Soc. Géol. de France, 3e sér., XIX, 1890-91, p. 263-290, pl. X, XI) et ailleurs; F. Priem, *Sur les Poissons de l'Éocène inférieur des Environs de Reims* (Ibid., 4e sér., I, 1901, p. 477-504, pl. X, XI); G. de Saporta, *Prodrome d'une Flore fossile des Travertins anciens de Sézanne* (Mém. Soc. Géol. de France, 2e sér., VIII, n° 3, 1868, p. 289-436, fig. 1-24, pl. XXII-XXXVI); et surtout l'ouvrage du même auteur, *Le Monde des Plantes avant l'apparition de l'Homme*. In-8°, Paris, 1879, p. 211 et suiv.; M. Leriche, *Sur l'âge des « Sables à Unios et Térédines » des Environs d'Epernay et sur la signification du terme Sparnacien* (Bull. Soc. Géol. de France, 4e sér., IV, 1904, p. 815-817). Rütimeyer a découvert, en outre, des traces de l'étage de Torrejon dans le Sidérolithique d'Egerkingen; le genre *Calamodon* paraît y représenter les Édentés; L. Rütimeyer, *Uebersicht der eocänen Fauna von Egerkingen nebst einer Erwiederung an Prof. E. D. Cope* (Verhandl. Naturf. Gesellsch. Basel, IX, 1890, p. 331-362). [— Voir aussi la thèse de M. Leriche, *Contribution à l'étude des Poissons fossiles du Nord de la France et des régions voisines* (Mém. Soc. Géol. du Nord, V, n° 1, 1906, 430 p., 17 pl.), et l'article de H. G. Stehlin, *Remarques sur les faunules de Mammifères des couches éocènes et oligocènes du bassin de Paris* (Bull. Soc. Géol. de France, 4e sér., IX, 1909, p. 488-520).]

emportées par les eaux, comme le ferait croire, en France, la présence de bois flottés et d'Unios dans certaines couches; et enfin que la ressemblance des faunes terrestres, et plus encore la présence en France des genres *Amia* et *Lepidosteus*, qui se trouvent en Amérique à l'état fossile, dans les dépôts tertiaires, aussi bien qu'à l'état vivant, indiquent une jonction entre les deux continents.

Mais ce qu'il y a de plus instructif, c'est de voir que les faunes avaient atteint, sur ce continent unique, des degrés analogues de différenciation et d'adaptation aux nécessités économiques. En Amérique comme en Europe, on voit apparaître ensuite la faune terrestre éocène caractérisée par le genre *Coryphodon*. Le parallélisme se révèle même dans ces courts moments où il nous est donné de jeter un regard furtif sur un état de choses passé. Nous trouverons en Patagonie une confirmation partielle de nos conclusions.

Il est fort possible que les mouvements eustatiques agissent sur la vie, en favorisant soit les migrations terripètes, soit, inversement, le retour à la mer; elles peuvent aussi, peut-être, quand elles sont soudaines, anéantir la vie dans toute la zone littorale; mais nous manquons sur ce point d'observations positives, et nous en sommes réduits à interpréter les faits biologiques.

V

Asiles, caractérisés par l'absence des plissements récents et la rareté des transgressions marines.

1. *Laurentia*; flores mésozoïques de sa bordure. — Parallélisme des faunes tertiaires en Europe et dans l'Amérique du Nord. La jonction Nord-Atlantique.
2. *Continent de l'Angara.*
3. *Continent de Gondwana*; comment l'ouverture de l'Atlantique en a détruit la continuité. Liseré tertiaire des côtes d'Europe. — Empiétement de la Téthys sur une partie de l'Océan actuel. Côtes de la Guyane et du Brésil. Côtes de l'Afrique Occidentale. Mer Intérieure Africaine. — La jonction Sud-Atlantique.
4. *Antarctide*; son ancienne extension vers le Nord. — *a*) *Australie*; répartition des Pingouins vivants et fossiles. Éléments divers de la faune australienne. — *b*) *Patagonie*. Faunes à *Notostylops* et à *Pyrotherium*; faune de Santa Cruz; faune des Pampas. Rapports avec l'Australie. — Peuplement du Pacifique Occidental.

Parallélisme du développement de la Vie dans les grands asiles; leur constitution tectonique; ancienneté de leur hydrographie. Distribution des Poissons d'eau douce; la faune des grands lacs Africains. — Tous les asiles répondent à des régions *périphériques* (Richthofen). — Approfondissement graduel des Océans et accroissement d'étendue corrélatif des Continents. La Téthys incorporée aux masses préexistantes. — Retour futur à la « Panthalassa ».

Asiles. — Les exemples précédents, en particulier le contraste de ce qui se passe sur une plage stable et dans la Mer Paléocaspienne, pourraient nous conduire à examiner avec plus de rigueur s'il y a lieu de distinguer des variations « actives » et des variations « passives ».

Nous nous abstiendrons cependant de le faire, pour rester fidèles à l'ordre chorographique que nous avons suivi jusqu'ici, et nous n'aborderons pas non plus la question de savoir dans quelle mesure la sélection naturelle, les croisements et l'hérédité contribuent à la formation d'espèces et de genres nouveaux que nous avons pu constater.

En revanche, si l'on considère bien attentivement la surface de la Terre, telle qu'elle se présente à nous, on reconnaît qu'il existe des régions où la vie a échappé depuis longtemps à certaines des vicissitudes physiques du Globe, je veux dire aux transgressions et aux mouvements orogéniques. Il y a des régions qui, depuis les grandes perturbations du Carbonifère supérieur, n'ont plus jamais été affectées d'une façon sensible par des mouvements analogues, et qui, pendant très longtemps, en général depuis le Gondwana inférieur, et jusqu'à l'époque actuelle, ne présentent que les restes de flores terrestres successives, à l'exclusion de tous sédiments marins. Bien que la vie, en ces lieux, ne fût pas garantie contre les changements de climat, contre les difficultés sociales résultant des immigrations étrangères, voire contre une submersion totale sous les eaux marines, cependant les flores ont pu s'y développer l'une après l'autre, et les perturbations affectant la vie y étaient un peu plus limitées qu'ailleurs; c'est pourquoi nous les appelons des *asiles*.

C'est de là qu'après les époques troublées, des colonies nouvelles purent partir pour repeupler les terres; aussi avons-nous comparé les asiles à l'île paradisiaque de Linné (III, 1re partie, p. 190).

Nous distinguons dans l'ensemble quatre asiles. Ce sont :

1. La *Laurentia*, avec les terres qui limitent l'Océan Atlantique dans sa partie la plus septentrionale.

2. Le *Continent de l'Angara*, c'est-à-dire la plate-forme de la Sibérie Orientale jusqu'à la limite des transgressions arctiques; peut-être faut-il y joindre certaines parties de la Chine.

3. Le *Continent de Gondwana* (Archamazonia + Archhelenis de Ihering; Atlantide méridionale + Continent de Gondwana de Arldt)[1], c'est-à-dire la péninsule de l'Inde, Madagascar, l'Afrique depuis le bord méridional du Karroo jusqu'au Sahara et, à l'Est, jusqu'au delà du Sinaï, plus des parties étendues du Brésil et de l'Argentine.

4. L'*Antarctide* avec l'Australie et la Patagonie.

Ces terres, sauf quelques très rares exceptions, n'ont pas pris part aux plissements postérieurs à la fin de l'époque carbonifère; dans

1. H. von Ihering, *Archhelenis und Archinotis, Gesammelte Beiträge zur Geschichte der neotropischen Region.* In-8°, 350 p., fig., 1 carte, Leipzig, 1907; Th. Arldt, *Die Entwicklung der Kontinente und ihrer Lebewelt. Ein Beitrag zur Vergleichenden Erdgeschichte.* In-8°, xx-730 p., 17 fig., 23 cartes, Leipzig, 1907 (renferme, p. 622-631, une bibliographie).

l'hémisphère Nord, elles ont joué par rapport à ces plissements le rôle d'avant-pays ou d'arrière-pays. On pourrait être tenté d'y voir des indices de la permanence des continents, si trois d'entre elles n'offraient des signes manifestes de morcellement. Les régions que la retraite de la mer crétacée laissa à sec, comme le Sahara, la Mer Caspienne et le Lac de Laramie, appartiennent à la périphérie de ces asiles, qu'elles réunissent, en totalité ou par fragments, en continents plus étendus. Toutes les chaînes de montagnes récentes sont situées en dehors de ces asiles; toutes, cependant, ne sont pas en dehors des limites de la flore du Gondwana. Nous ne comprenons pas les Andes Antarctiques dans l'Antarctide.

1. *Laurentia.* — On n'a pas encore découvert la flore typique du Gondwana dans l'Amérique du Nord. Dans la partie laurentienne, le Carbonifère supérieur est surmonté, comme en Allemagne, par la flore à *Walchia* du Permien. Les gisements où a été recueillie la flore de Newark (Keuper) n'appartiennent pas à la Laurentia, mais au flanc oriental affaissé des Appalaches; il en est de même pour la flore du Potomac (Wealdien) du Maryland. On en suit les traces jusqu'au Texas, puis elles reparaissent dans l'Ouest du Canada et peut-être même dans l'extrême Nord, au Cap Lisburne[1]. Il est possible qu'elles indiquent la limite de l'asile laurentien. Cette limite a dû être franchie sur plus d'un point par la transgression crétacée, mais le centre reste un asile jusqu'à l'époque actuelle, et les faunes terrestres et d'eau douce s'y succèdent sans interruption. L'histoire de la Laurentia diffère pourtant par deux circonstances de celle de l'Europe. D'abord, elle n'a pas connu les incursions répétées de la mer, qui donnent à la géologie de l'Europe tant de complexité et tant d'intérêt : aussi les Poissons des genres *Lepidosteus* et *Amia*, et les Unios à coquille plissée des fleuves tertiaires ont-ils subsisté jusqu'à notre époque dans les rivières de l'Amérique du Nord, alors qu'en Europe on les voit disparaître au milieu de l'ère tertiaire. En second lieu, les grands traits de la configuration superficielle, dans l'Amérique du Nord, sont orientés suivant les méridiens, ce qui simplifie les effets des changements de climat, en faisant ressortir plus nettement les déplacements des faunes vers le pôle ou vers l'équateur.

Les plus anciens sédiments tertiaires, Puerco, Torrejon et Wasatch (faune à *Coryphodon*), appartiennent à la périphérie de l'asile laurentien.

L'étage de Torrejon et la faune à *Coryphodon* se retrouvent en France, et les faunes suivantes présentent également, de part et d'autre

[1. On sait aujourd'hui que la flore fossile du Cap Lisburne est jurassique et appartient à un niveau compris entre le Bathonien et l'Oxfordien; F. H. Knowlton, *The Jurassic Flora of Cape Lisburne, Alaska* (U. S. Geol. Survey, Professional Paper 85-D, 1914, p. 39-64, pl. V-VIII).]

de l'Océan, de nombreux termes de liaison; ceux-ci se font plus rares vers le Miocène[1].

Ce parallélisme révèle l'existence d'une terre continue au Nord. Il est tout à fait invraisemblable que la communication entre ces riches faunes terrestres se soit faite par la Mer de Bering; ce qui suffirait à le prouver, c'est que les genres *Amia* et *Lepidosteus* existent dans le Tertiaire européen. Si la jonction par la Mer de Bering a joué un rôle, ce n'a pu être tout au plus que pour l'immigration de types asiatiques pendant ou après la période glaciaire.

En ce qui concerne la jonction nord-atlantique, on peut dégager les résultats suivants :

Sur une grande distance à partir du Sud, et jusque vers 42° de lat. N., il existe une bordure marine (III, 2e partie, p. 644, fig. 127) attestant que, dans ces limites, le continent ne s'est pas étendu, à l'époque tertiaire, sur l'emplacement de l'océan actuel. Au Nord de 42°, les côtes sont vides. Dans l'Ile de Disko, sauf deux intercalations peu importantes de Sénonien marin, les flores terrestres se succèdent, du Crétacé inférieur au Tertiaire, presque comme dans un asile[2]. La côte, au voisinage du Cap Farewell, reste nue. Au début de l'époque miocène, un pont d'épanchements basaltiques a relié cette côte à l'Islande, aux Færöer et à l'Écosse[3]. Ce pont était recouvert de forêts, dont les feuilles ont été conservées dans les tufs.

A partir de là, le tableau change.

Dans la Presqu'île de Tjörnes (Nord de l'Islande), on voit apparaître sous les couches à empreintes végétales un niveau marin, qui a été parallélisé avec le Crag d'Angleterre[4]. Sur la côte du Groenland, on

[1. Sur ces relations entre les faunes tertiaires de l'Amérique du Nord et celles de l'Europe, voir : Albert Gaudry, *Similitudes dans la marche de l'Évolution sur l'Ancien et le Nouveau Continent* (Bull. Soc. Géol. de France, 3e sér., XIX, 1890-1891, p. 1024-1035); H. F. Osborn, *The Age of Mammals in Europe, Asia and North America*. In-8°, New York, 1910, p. 95-97, 112, 138, 178, 242, 304, 374, etc.; H. G. Stehlin, *Ueber die Saügetiere der Schweizerischen Bohnerzformation* (Verhandl. Schweiz. Naturforsch. Gesellsch., 93. Jahresversammlg., Basel, 1910, I, p. 138-167, 9 fig.); Ch. Depéret, *Les échanges de faunes entre l'Europe et l'Amérique du Nord aux temps géologiques* (Proc. VIIth. Internat. Zool. Congress, Boston, 1907. In-8°, Cambridge, 1912, p. 703-713). — On trouvera, en outre, un grand nombre de données sur cette question dans le mémoire de W. D. Matthew, intitulé : *Climate and Evolution* (Annals New York Acad. Sc., XXIV, 1915, p. 171-318, 33 fig.) : la thèse soutenue par ce naturaliste, comme antérieurement par G. de Saporta, et dont l'origine pourrait être retrouvée jusque dans les œuvres de Buffon, est que le peuplement des Continents est dû à des migrations, rayonnant à partir d'un centre voisin du Pôle boréal (pour la dispersion des Mammifères, voir p. 209-274, fig. 6-31 : cartes).]

[2. Voir II, p. 110; III, 2e partie, p. 937.]

3. Th. Thoroddsen, *Hypotesen om en postglacial Landbro over Island og Færöerne set fra et geologisk synspunkt* (Ymer, XXIV, 1904, p. 392-399).

4. II, p. 213; A. G. Nathorst, *Marine Conchylien im Tertiär Spitzbergens und Ostgrönlands* (Zeitschr. Deutsch. Geol. Gesellsch., XLVIII, 1896, p. 983-986); H. Pjeturss, *Einige Hauptzüge der Geologie und Morphologie Islands* (Zeitschr. Gesellsch. f. Erdkunde, Berlin, 1908, p. 455 et suiv., pl. V : carte géol.).

observe, par 69° 24′ et jusqu'au voisinage de 75° de lat. N., des sédiments miocènes qui font peut-être partie d'une bordure [1]. On les retrouve au Spitzberg, intercalés entre des couches à empreintes végétales; le Jurassique sous-jacent comprend lui-même une alternance de niveaux marins et de niveaux à flore terrestre. Une alternance tout à fait analogue s'observe encore dans le Carbonifère, indiquant les transgressions répétées d'une mer sans profondeur.

A l'époque post-glaciaire, enfin, se produit dans toute la région la transgression circumpolaire, qui recouvre aussi l'Islande.

L'Éocène marin fait complètement défaut dans le Nord.

Il a donc probablement existé, au Nord de l'Islande, une jonction temporaire, souvent interrompue par les transgressions. Depuis l'Éocène, il n'a plus existé de jonction entre les deux rives de l'Océan au Sud de 42°, à l'Ouest, et de 52°, à l'Est; il se peut toutefois que de grandes îles périphériques aient existé à l'Est. Dans le Sud de l'Angleterre et en Belgique, la base de l'Éocène (étage Thanétien) est représentée à la fois par des niveaux marins et par des couches à empreintes végétales.

Il n'y a là que des restrictions, et le pont basaltique de l'Islande indiquerait peut-être même qu'une séparation s'était produite avant qu'il fût établi. Malgré tout, l'ensemble de la Laurentia est visiblement une unité naturelle, se comportant comme un avant-pays par rapport à la Chaîne des États-Unis comme par rapport aux Appalaches, pourvue d'une bordure paléozoïque horizontale, épargnée, sauf sur les bords, par les transgressions marines ultérieures, respectée par les plissements depuis l'époque cambrienne, et jouant peut-être même, dans l'Ouest des Hébrides, le rôle d'avant-pays par rapport aux plissements calédoniens. On voit en outre, à l'Ouest comme à l'Est, les côtes à rias des Altaïdes Occidentales plonger sous l'océan qu'elles traversaient autrefois de part en part : ce sont les restes d'une seconde unité naturelle, aujourd'hui divisée en fragments comme la précédente.

2. *Continent de l'Angara* (III, 1re partie, p. 27). Cet asile n'est pas morcelé. Sa limite est formée, sur une grande distance, par la Léna et l'Iénisséi et, vers le Sud, par l'amphithéâtre d'Irkoutsk, tandis que du côté du Nord la plate-forme ancienne s'abaisse doucement sous les transgressions nordiques. Sur les trois grands fleuves qui, venus de l'amphithéâtre, se jettent dans l'Iénisséi : Angara, Podkamennaïa Toungouska et Nijniaïa Toungouska, on a rencontré la flore toungouse ou flore du Gondwana inférieur; on connaît, en beaucoup d'endroits, des flores jurassiques et tertiaires; mais on ne connaît nulle part de sédiments marins postérieurs aux terrains du début de l'ère paléozoïque,

[1. Voir III, 2e partie, p. 987, note 3.]

lesquels sont restés horizontaux. On peut s'attendre, dans cette région, à d'importantes découvertes d'animaux terrestres fossiles.

3. *Continent de Gondwana* (I, p. 492; III, 3e partie, p. 1312). — Ce vaste continent s'est étendu de l'Est de l'Inde jusque dans l'Ouest du Brésil et jusqu'aux Cordillères Argentines. Son extrémité occidentale seule a été englobée dans les plissements. Les différents niveaux de la flore du Gondwana (fig. 418) se sont étendus jusque dans ses parties les plus reculées à l'Est et à l'Ouest (fig. 419), et, de l'Inde à l'Amérique du Sud, on rencontre des Reptiles parvenus à des degrés d'évolution comparables. Sauf quelques empiétements du Crétacé supérieur, la mer, depuis l'époque carbonifère, n'a jamais envahi ce continent, aujourd'hui réduit à l'état de fragments.

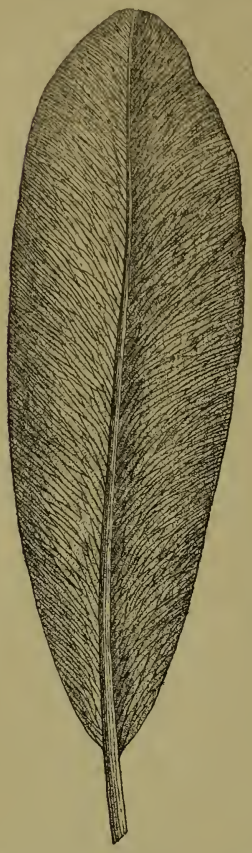


Fig. 418. — *Glossopteris Browniana*, Feistmantel. Couches de Newcastle, Nouvelle-Galles du Sud. Figure extraite du *Traité de Géologie* d'Em. Haug. In-8°, Paris, 1908-1911, II, fasc. 1, p. 823, fig. 273. (3/4 de grandeur naturelle.)

Toutefois, la flore du Gondwana s'est également étendue jusque dans le domaine de la Téthys, peut-être seulement sur les îles qui le parsemaient. Elle apparaît dans le Cachmir au milieu des couches de la fin du Paléozoïque[1]; au Col de Bamian, au cœur de l'Hindou-Kouch, elle forme la base de la série mésozoïque; elle se montre encore par places jusque dans l'Est du Khorassan. On l'a retrouvée même sur la Dvina, dans le Nord de la Russie, où, associée à des Reptiles analogues, elle forme une colonie originaire soit du Continent de l'Angara, soit du Continent de Gondwana. Tous les points mentionnés en dernier lieu, du Cachmir à la Dvina, n'offrent pas d'intérêt pour la question des asiles, car ils ont été sujets à des submersions ultérieures.

On a déjà parlé si souvent du Continent de Gondwana, dans cet ouvrage, qu'il suffira d'examiner ici une question particulière, celle de savoir comment l'Océan Atlantique en a détruit la continuité (I, p. 372).

Les vallées inférieures de la Loire, de la Gironde, du Tage et du Guadalquivir ressemblent si parfaitement à des golfes marins normaux

[1. Voir les travaux signalés ci-dessus, p. 1642, note 4.]

que, malgré la présence du granite dans les Iles Berlengas (au large des côtes d'Estramadure)[1], on ne peut guère supposer qu'un continent étendu aurait existé à la place de l'Atlantique actuel sous ces latitudes. Les îles de Santa Maria (Açores), de Madère et de Porto Santo sont bordées par le IIe étage Méditerranéen; à l'époque de son dépôt, il n'existait pas, dans ces parages, de terre continue, et le peuplement possible de ces îles par des espèces européennes est nécessairement antérieur, pour autant qu'il n'est pas dû à l'influence des courants[2].

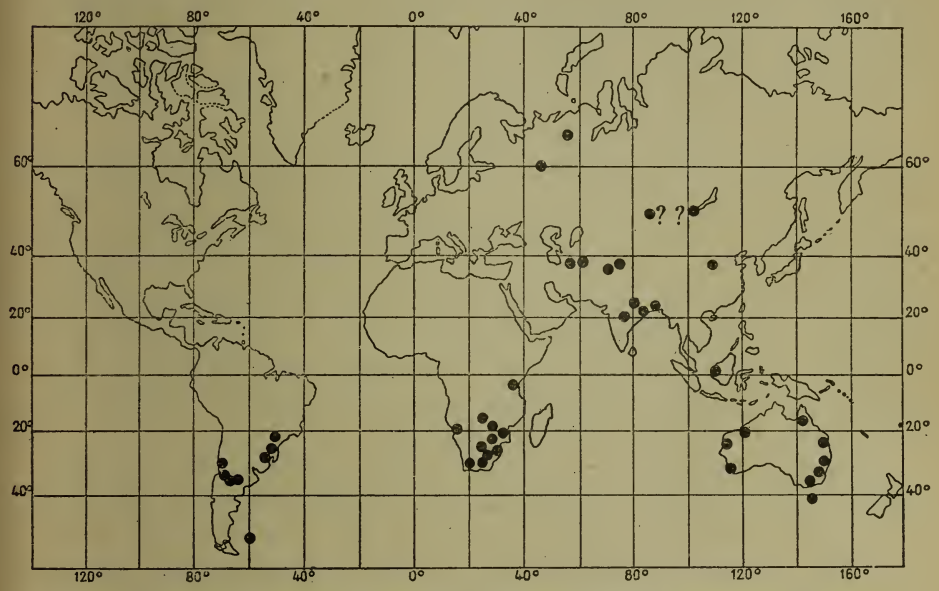


Fig. 419. — Extension de la flore à *Glossopteris*, d'après David White (*Journal of Geology*, XVII, 1909, p. 334, fig. 2)[3].

Au Sud de 42° de lat., avons-nous dit, l'existence d'un continent atlantique à l'époque tertiaire est inadmissible. Il en est probablement de même jusqu'à l'Orénoque. Bien que le faciès germanique du Trias domine dans l'Ouest de la Méditerranée européenne, et que cela puisse éveiller quelques doutes sur sa connexion avec le Trias du Mexique[4],

[1. Voir III, 2e partie, p. 537, fig. 95.]

2. J. C. Berkeley Cotter, *Noticia de alguns Fosseis terciarios do Archipelago da Madeira* (Communic. da Commiss. dos Trab. Geol. de Portugal, II, 1892, p. 232-254); et *Noticia de alguns Fosseis terciarios de Ilha de Santa Maria no Archipelago dos Açores* (Ibid., p. 255-287). Dans le tome I du présent ouvrage (p. 389), j'ai parallélisé, conduit par l'analogie des Turritelles de Saint-Gall, la Mollasse marine de la Suisse — type de l'Helvétien — avec l'horizon de Gauderndorf, qui appartient au 1er étage Méditerranéen. En réalité, ce niveau répond à l'horizon de Grund, à la base du IIe étage Méditerranéen. Il y a lieu de rectifier en conséquence ce qui a été dit, au t. I (p. 372), sur la bordure des Iles Atlantiques.

[3. Aux gisements signalés sur cette carte, il y a lieu d'ajouter Madagascar (M. Boule, C. R. Acad. Sc., CXLVI, 1908, 1er sem., p. 502-504). Voir III, 3e partie, p. 990.]

[4. Voir III, 3e partie, p. 1234.]

cependant l'étage mexicain d'Alamitos, du Rio Grande à Durango, correspond tout à fait au Kimeridgien d'Europe[1]. Le faciès de Gosau du Crétacé supérieur, avec ses Actéonelles et ses Hippurites, apparaît, sans qu'il y ait de doute possible, à la Jamaïque, et sous les couches de Laramie dans le Nord de l'Etat de Coahuila. Le parallélisme serait plus difficile à établir pour l'Éocène. On peut toutefois rapporter l'étage à Lépidocyclines de la Floride, du Nicaragua et de Panama au Premier étage Méditerranéen (étage de Brito ou de Vicksburg)[2]. Vers cette époque, il existait des communications avec le Pacifique, aussi bien par le Lac de Nicaragua, où d'ailleurs elles ont subsisté plus tard, que par l'Isthme de Panama. Il faut donc admettre que la Téthys, au moins pendant une partie de son existence, s'est étendue sur l'Océan Atlantique actuel[3].

Il est plus difficile de suivre les faits plus au Sud.

Après une revision serrée de la flore d'un certain nombre de stations de l'Afrique actuelle, Engler estime que ses caractères s'expliqueraient de la manière la plus satisfaisante si l'on pouvait établir l'existence de grandes îles ou d'un pont terrestre *entre le Nord du Brésil, au Sud-Est des bouches de l'Amazone, d'une part, et la Baie de Biafra, de l'autre*[4]. Retenons cette conclusion; elle montre qu'on peut regarder en gros l'embouchure de l'Orénoque, au Nord, et celle de la Plata ou le Cap Corrientes, au Sud, comme les limites du Continent de Gondwana, du côté de l'Amérique du Sud.

Les côtes de la Guyane sont peu connues; elles ne sont probablement formées, comme l'intérieur, que de terrains anciens. Viennent ensuite les vastes alluvions de l'Amazone. De Para (1° de lat. S.) au Cap Frio, c'est-à-dire sur 22 degrés de latitude, le rivage est bordé par des lambeaux transgressifs de Crétacé supérieur. Çà et là, ces lambeaux s'étendent davantage vers l'intérieur, et ils doivent être considérés non comme une bordure, mais comme des restes d'une nappe autrefois continue. Dans les Iles Abrolhos (18° de lat. S.), Derby signale un lambeau sédimentaire du même genre, associé à des roches basiques qui affleurent également sur le continent[5]. Il est probable

[1. La découverte récente du Jurassique moyen dans les États d'Oaxaca et de Guerrero paraît venir appuyer cette analogie; III, 3e partie, p. 1235.]

[2. Voir III, 3e partie, p. 1282.]

[3. L'examen des nombreux fossiles rapportés de l'Ile de la Trinité par A. Tobler a permis tout dernièrement à H. Douvillé de montrer que la série marine était continue dans cette partie de l'Amérique tropicale, du Lutétien au Burdigalien; H. Douvillé, *Les Orbitoïdes de l'île de la Trinité* (C. R. Acad. Sc., CLXI, 1915. 2e sem., p. 87-93).]

4. A. Engler, *Über Floristische Verwandschaft zwischen dem tropischen Afrika und Amerika sowie über die Annahme eines versunkenen brasilianisch-æthiopischen Continents* (Sitzungsber. K. Preuss. Akad. Wiss. Berlin, 1905, I, p. 180-231, en particulier p. 229).

5. Orv. A. Derby, *The Sedimentary Belt of the Coast of Brazil* (Journ. of Geol., XV, 1907, p. 218-237, 1 carte dans le texte, bibliographie). On signale également des couches tertiaires, sans toutefois y avoir reconnu des fossiles certains. Au Sud de Bahia, des couches saumâtres à empreintes végétales et à Dinosauriens recouvrent un calcaire à *Neithea*; cela pourrait répondre

que des conditions analogues prévalent jusqu'au Rio de la Plata.

Ces données se rapportent au bord de l'antique plate-forme archéenne, qui n'est qu'un fragment du grand asile. Elles coïncident très exactement aussi avec la partie du rivage à laquelle Ihering rattache son continent effondré de l'*Archhelenis*, entre l'Amazone et le Rio de la Plata. Il n'y a point de bordure tertiaire; à partir de Sao-Paulo, en allant vers le Sud, Ihering signale une zone littorale post-tertiaire[1].

Tournons-nous maintenant vers les rivages orientaux de l'Océan. Jusqu'à l'Oued Draa, il ne faut pas s'attendre à trouver les indices d'un prolongement continental. La section qui va jusqu'au Cap Bojador est peu connue. Au Rio de Oro, des terrains anciens et des couches paléozoïques arrivent à la mer. A partir de 23°, on a signalé un niveau à *Ostrea* et *Tellina*; plus au Sud, d'après une récente communication due à l'obligeance de R. Chudeau, s'ouvre un large golfe qui s'enfonce profondément dans les terres et qui s'étend au Sud jusqu'au delà de l'embouchure du Sénégal[2]. R. Chudeau se demande si ce golfe ne correspondrait pas aux couches à *Marginella* de Tombouctou. On peut admettre que la côte, entre 23° et 15° au moins, appartient au domaine de la mer intérieure du Tertiaire moyen, laquelle s'est étendue largement vers le Centre de l'Afrique (III, 2e partie, p. 664).

Au Cap Vert, des roches volcaniques se dressent au-dessus d'alluvions récentes; les îles du même nom sont peut-être la continuation de ce massif éruptif. Dans l'une d'elles on a signalé des roches anciennes, et celles-ci vont désormais former des affleurements considé-

à la phase négative de la fin de la période crétacée, reconnue jusque dans les Andes Argentines. D'après ce travail, il est douteux que les Abrolhos doivent être comptés au nombre des îles volcaniques. [Sur la géologie des côtes du Brésil, voir III, 3e partie, p. 1310-1312, notes. Consulter, en outre, les travaux suivants de John C. Branner : *The Stone Reefs of Brazil, their geological and geographical Relations, with a chapter ou the Coral Reefs* (Bull. Mus. Comparat. Zool. Harvard College, XLIV (Geol. series, VII), 1904, 285 p., 104 fig., 99 pl. dont 13 cartes); *Stone Reefs of the Northeast Coast of Brazil* (Bull. Geol. Soc. of America, XVI, 1905, p. 1-12, 2 fig., pl. 1-11 : phot.); *The Geology of the Coast of the State of Alagôas, Brazil* (Annals Carnegie Mus., Pittsburg, VII, n° 1, 1910, p. 5-22, fig. 1-14, pl. II-IV, dont 1 carte geol.); *The Geography of North-Eastern Bahia, Brazil* (Geogr. Journ., London, XXXVIII, 1911, p. 139-152 et 256-269, 14 fig., 1 pl. phot., 1 carte h. t.); D. Starr Jordan and John C. Branner, *The Cretaceous Fishes of Ceará, Brazil* (Smithsonian Miscell. Collections, LII, part 1, 1908, p. 1-29, 22 fig., pl. I-VIII); O. P. Jenkins, *Geology of the Region about Natal, Rio Grande do Norte, Brazil* (Proc. Amer. Phil. Soc., LII, 1913, 36 p., 11 fig., pl. XV-XXII, dont 1 carte géol.).]

1. H. v. Ihering, *Les Mollusques Fossiles du Tertiaire et du Crétacé supérieur de l'Argentine* (Anales Mus. Nac. Buenos Ayres, ser. 3, VII, 1907, XIII-611 p., 18 pl.; en particulier p. 483).

[2. Voir G. F. Dollfus, *Les Coquilles du Quaternaire marin du Sénégal. Introduction géologique* par A. Dereims (Mém. Soc. Géol. de France, Paléontologie, XVIII, n° 44, 1911, p. 1-72, fig. 1-4, pl. I-IV); N. Font y Sagué, *Les formations géologiques du Rio de Oro, Sahara Occidental* (Bull. Soc. Géol. de France, 4e sér., XI, 1911, p. 212-217, 1 fig.); G. F. Dollfus, *Étude des fossiles recueillis par* N. Font y Sagué *au Rio de Oro* (Ibid., p. 218-238, 4 fig.); Paul Lemoine, *Afrique Occidentale*. In-8°, 80 p., 14 fig., 1 carte, Heidelberg, 1913 (Handbuch der Regionalen Geologie, hrsg. von G. Steinmann und O. Wilckens, 14. Heft. Bd. VII, 6. Abt.); renferme, p. 66-78, une copieuse bibliographie.]

rables sur le continent[1]. C'est seulement à partir de là qu'on peut admettre l'existence d'un ancien prolongement continental.

Les côtes qui viennent ensuite, jusqu'au Cameroun, appartiennent au massif de terrains anciens qui, probablement, à l'époque crétacée supérieure, et peut-être aussi plus tard, était séparé de l'Afrique. Dans le Cameroun, on a rencontré, outre du Crétacé, de l'Éocène[2]. La ligne de volcans qui court jusqu'à Annobon montre que la structure continentale se poursuit sous l'Océan. A partir de ce point (4° de lat. N.), les renseignements font malheureusement défaut jusqu'au voisinage de Landana (5° de lat. S,); on trouve ensuite, jusqu'à 16° de lat. S., une bordure de Crétacé supérieur et de Tertiaire (généralement à *Lepidocyclina*) dont l'existence, il est vrai, n'a été établie que sur quelques points[3]. Dans l'Afrique sud-occidentale allemande, les côtes semblent être dépourvues de toute couverture sédimentaire.

Ces données, quelque incomplètes qu'elles soient encore, montrent du moins qu'il faut peut-être chercher une jonction continentale entre les latitudes de 15° et 4° N., c'est-à-dire dans la Baie de Biafra et au Nord de celle-ci; il n'est pas impossible même que ce pont se soit étendu jusqu'à 5° de lat. S. Au Sud de 16°, l'état des choses est encore tout à fait obscur. Par ce qui précède, on voit que c'est entre les parties de l'Afrique et de l'Amérique du Sud qui s'avancent le plus loin dans l'Océan qu'on devrait soupçonner tout d'abord une jonction.

[1. On doit à Imm. Friedländer le découverte, aux Iles du Cap-Vert, d'*Aptychus* qui démontrent la présence de gisements jurassiques dans cet archipel; Imm. Friedländer, *Beiträge zur Kenntniss der Kapverdischen Inseln.* In-4°, Berlin, 1913.]

2. Voir le t. III du présent ouvrage, 2e partie, p. 668 [et la carte, fig. 134, p. 669]; Chautard, s'appuyant sur l'Éocène du Cameroun, suppose que cette séparation a duré jusque dans l'Éocène; J. Chautard, *Matériaux pour la Géologie et la Minéralogie de l'Afrique Occidentale Française*, I. In-8°, 15 p., Gorée, 1906. [Voir aussi O. Mann und E. Hennig, *Mesozoische Ablagerungen in Adamaua, Kamerun* (Beitr. zur Geol. Erforschung der Deutschen Schutzgebiete, Heft 7, 1913, 3 fig., 1 pl.).]

3. P. Choffat, *Contributions à la connaissance géologique des colonies portugaises d'Afrique*, II. *Nouvelles données sur la zone littorale d'Angola* (Commission. Géol. du Portugal). In-4°, 78 p., 4 pl., Lisbonne, 1905. [Voir aussi F. Priem, *Poissons tertiaires des possessions africaines du Portugal* (Comm. Commiss. Serviço Geol. de Portugal, VII, 1907, p. 74-79, pl. I, II); E. Stromer, *Ueber Alttertiär in Westafrika und die Südatlantis* (Jabrb. K. Preuss. Geol. Landesanst., XXX, 1909, Teil I, p. 512-515), et *Reptilien- und Fischreste aus dem marinen Alttertiär in Sudtogo, Westafrika* (Zeitschr. Deutsch. Geol. Gesellsch., LXII, 1910, Monatsb., p. 478-508, 1 pl.); Em. Vincent, L. Dollo et M. Leriche, *Matériaux pour la Paléontologie du Bas et du Moyen-Congo. La faune paléocène de Landana* (Annales du Musée du Congo Belge; Géologie, Paléont., Minéral., sér. 3, I, fasc. 1, 92 p., pl. I-X, 1913); L. Dollo, *Sur la découverte de Téléosauriens tertiaires au Congo* (Bull. Acad. R. de Belgique, Classe des Sc., 1914, p. 288-298)]. — Pour l'ancienne terre de Tristan d'Acunha, je ne dispose pas d'indications probantes. L'île est volcanique; un bloc isolé de gneiss est sans importance; E. H. L. Schwarz, *The Rocks of Tristan d'Acunha, brought back by H. M. S. Odin, 1904, with their bearing on the Question of the Permanence of Ocean Basins* (Trans. South African Phil. Soc., XVI, 1905, p. 9-51, 3 fig.), et *The former Land Connection between Africa and South America* (Journ. of. Geol., Chicago, XIV, 1906, p. 81-90).

L'accord de cette conclusion avec celle d'Engler est frappant. Scharff, de son côté, place également le pont terrestre au Sud des archipels atlantiques[1]. D'autre part, c'est à une grande distance au Sud que Ihering place la limite septentrionale de son *Archhelenis* effondrée. Kobelt, s'appuyant sur l'étude des Mollusques terrestres, trouve dans les Açores beaucoup de caractères africains; le Miocène d'Europe étant d'ailleurs généralement représenté dans ces îles, ce naturaliste cherche la jonction plus au Nord[2]. Peut-être apercevra-t-on un jour la signification du fait que la bordure qui se montre autour de certaines de ces îles appartient seulement au Deuxième Étage Méditerranéen.

4. *Antarctide.* — Que l'Australie et la Patagonie aient été jadis réunies par un continent, c'est ce que les biologistes ont soutenu depuis longtemps et à maintes reprises. Hedley, après une critique sévère des observations, admet aussi l'existence d'une terre qui, jouissant d'un climat tempéré, se serait étendue dans les régions australes, de la Terre de Feu à la Tasmanie. Osborn, s'appuyant sur le tracé de l'isobathe de 1 000 brasses, a même essayé d'en restituer les contours[3] (fig. 420). Ces présomptions ont été confirmées par les décou-

1. R. F. Scharff, *Some Remarks on the Atlantis Problem* (Proc. R. Irish Acad., Dublin, XXIV, B, 1903, p. 268-302, bibliographie; en particulier p. 279). [Le même résultat se dégage des études de L. Germain. *Le problème de l'Atlantide et la Zoologie* (Annales de Géogr., XXII, 1913, p. 209-226).]

2. W. Kobelt, *Das Verhältnis der europäischen Landmolluskenfauna zur Westindisch.-centralamerikanischen* (Nachrichtsblatt der Deutsch. Malakozool. Gesellsch., XIX, 1887, p. 145-148).

3. C. Hedley, *Considerations on the Surviving Refugees in Austral Lands of Ancient Antarctic Life* (Journ. and Proc. Royal Soc. New South Wales, XXIX, 1895, p. 278-286; en particulier p. 283); H. F. Osborn, *Correlation between Tertiary Mammal Horizons of Europe and America. An Introduction to the more exact Investigation of Tertiary Zoogeography. Preliminary Study* (Annals Acad. Sc., New York, XIII, 1900-1901, p. 1-72, Bibliogr.; en particulier p. 52). [— Sur l'existence d'un ancien Continent Austral et les raisons d'ordre paléontologique ou biogéographique qui tendent à l'établir, consulter : H. O. Forbes, *Antarctica : a Supposed Former Southern Continent* (Natural Science, III, 1893, p. 54-57); A. Milne-Edwards, *Sur les ressemblances qui existent entre la faune des Iles Mascareignes et celles de certaines îles de l'Océan Pacifique austral* (Annales des Sc. Nat., Zoologie, 8e sér., II, 1896, p. 117-136, pl. 11-15); N. L. Britton, T. Gill, A. Heilprin, W. B. Scott, *The Origin and Relations of the Floras and Faunas of the Antarctic and adjacent Regions* (Science, New York, new ser., III, 1896, p. 305-320); A. E. Ortmann, *The Theories of the Origin of the Antarctic Faunas and Floras* (Amer. Naturalist, XXXV, 1901, p. 139-142), et *Tertiary Invertebrates* (Reports Princeton University Expeditions to Patagonia, IV, part 2. In-4°, Stuttgart, 1902, p. 45-332, pl. XI-XXXIX); R. Burckhardt, *Das Problem des antarktischen Schöpfungscentrums vom Standpunkt der Ornithologie* (Zool. Jahrb., Abt. f. Systematik, XV, 1902, p. 499-536, bibliogr.); F. Blaschke, *Ueber die tiergeographische Bedeutung eines antarktischen Kontinents* (Verhandl. Zool.-Bot. Gesellsch. Wien, LIV, 1904, p. 144-155); L. Dollo, *Résultats du voyage du S. Y. Belgica en 1897-1898-1899. Zoologie. Poissons.* In-4°, Anvers, 1904, p. 146, 181, 191, 220; F. W. Hutton, *Ancient Antarctica* (Nature, London, LXXII, 1905, p. 244-245); Ch. Chilton, *The Biological Relations of the Sub-Antarctic Islands of New Zealand* (dans l'ouvrage : *The Sub-Antarctic Islands of New Zealand.* 2 vol. in-4°, Wellington, 1909, II, p. 793-807); H. Kolbe, *Die Südpolarkontinentheorie, nebst Bemerkungen über tiergeographische Verhältnisse aus der Südhemisphäre* (Naturwiss. Wochenschr., neue F.,

vertes paléontologiques, mais le morcellement a été poussé si loin et la connaissance des régions polaires, capitale à cet égard, est encore si incomplète qu'il est difficile pour le géologue de se prononcer.

a) Australie (II, p. 240; III, 3e partie, p. 1002). — Le continent

Fig. 420. — Extension probable du Continent Antartique à l'Époque tertiaire, d'après H. F. Osborn (*Annals of the Acad. of Science*, New York, XIII, 1900-1901, p. 52).

1. Continents actuels; 2. Profondeurs de 0 à 300 m.; 3. Profondeurs de 300 à 3 000 m.; 4. Profondeurs au-delà de 3 000 m. — La courbe 3 000 figure l'extension approximative du Continent antarctique à l'époque tertiaire. — Échelle de 1 : 145 000 000.

Australien présente dans sa partie orientale la succession des flores caractéristiques des asiles depuis le Gondwana inférieur; les formations glaciaires, qui en marquent le début dans l'Inde et dans l'Afrique

VIII, 1909); C. H. Eigenmann, *The Fresh-Water Fishes of Patagonia and an Examination of the Archiplata-Archhelenis Theory* (Reports Princeton University Expeditions to Patagonia, III, part 3. In-4°, 1909, p. 225-374, 33 fig. cartes, 2 pl. cartes); G. Enderlein, *Die biologische Bedeutung der Antarktis und ihrer Faunengebiete, mit besonderer Berücksichtigung der Insektenwelt* (Deutsche Südpolar-Expedition, X (Zoologie, II, Heft 4). In-4°, Berlin, 1909, p. 323-360, 2 fig., pl. XXXIX, carte); Th. Arldt, *Die Bedeutung der Antarktis in der Entwicklung der Erde und ihrer Lebewesen* (Himmel und Erde, XXII, 1910, p. 354-372); H. F. Osborn, *The Age of Mammals in Europe, Asia and North America.* In-8°, New York, 1910, p. 75-78. Voir aussi les publications signalées dans les notes suivantes.]

australe, y existent également; cependant, il s'est produit des transgressions marines du côté de l'Ouest. Les granites de la Cordillère australienne franchissent le Détroit de Torres et apparaissent dans le Sud de la Nouvelle-Guinée; des Unios australiennes vivent en Nouvelle-Guinée dans le Fly River. Le bord oriental, formé par une série de cassures longitudinales récentes, est nu; la partie de l'Océan qui longe le continent à l'Est peut être considérée comme due à un effondrement récent. La côte Sud est bordée par des sédiments tertiaires : c'est probablement une cassure un peu plus ancienne.

La Terre de Van Diemen est un prolongement méridional de l'Australie. Les récentes observations géologiques faites à l'Ile Auckland et dans les archipels voisins y révèlent des conditions continentales, et indiquent que ces îles ont été jadis reliées au continent austral, et peut-être aussi au Sud-Ouest de la Nouvelle-Zélande, qui offre, ainsi que l'Ile Stewart, une constitution différente de celle des Alpes Néo-Zélandaises [1]. C'est peut-être par cette voie que les Pingouins géants du Tertiaire (*Palæeudyptes*) sont parvenus jusque dans la province d'Otago [2]. Rapprochés des grands Pingouins tertiaires de l'Ile Seymour, ils établissent la continuité des terres entre ces points éloignés, à une époque antérieure, et en même temps l'âge de ces animaux exclusivement antarctiques [3]. La Tortue cornue, terrestre ou palustre, *Miolania*, se trouve à la fois dans la petite Ile de Lord Howe et dans des sédiments récents du Queensland, et une espèce voisine se trouve dans des grès plus anciens en Patagonie [4].

Les nombreux travaux publiés récemment sur la faune actuelle de l'Australie ne semblent pas avoir encore conduit à une nouvelle division; nous nous en tiendrons à celle de Hedley, d'après laquelle il y a lieu de distinguer : 1° une faune très ancienne, autochtone (faune *Eyréenne* de Spencer), localisée principalement dans l'extrême Sud-Ouest; 2° une deuxième faune, endémique (faune *Euronotienne* de Tate), avec ses Monotrèmes, ses Marsupiaux, etc., caractéristiques, répandue sur tout le continent, et dont des représentants isolés s'avancent jusqu'en Nouvelle-Guinée et aux Iles Salomon; 3° l'élément le plus jeune, ou

1. Sur ce point, voir III, 3e partie, p. 1065, *addendum* [et les notes de la p. 1004].

2. J. Hector, Quart. Journ. Geol. Soc., XXXII, 1876, p. 53.

3. C. Wiman, *Vorläufige Mittheilung über die alttertiären Vertebraten der Seymouriusel* (Bull. Geol. Inst. Univ. Upsala, VI, 1902-03, p. 247-253, pl. XIII). [Voir aussi le mémoire détaillé du même auteur, publié dans les *Wissenschaftliche Ergebnisse der Schwedischen Südpolar-Expedition*, III. Bd., 1. Liefg. In-4°, 38 p., 8 pl. Stockholm, 1905]

4. Les données dont on dispose ont été réunies par A. Smith Woodward, *On Some Extinct Reptiles from Patagonia, of the Genera* Miolania, Dinolysia, *and* Genyodectes (Proc. Zool. Soc. London, New Ser., I, 1901, p. 169-184, pl. XV-XX; voir le présent ouvrage, II, p. 261). *Megalania* avait été primitivement considéré comme un Lacertien.

faune *Papoue*, qui, venue de la Nouvelle-Guinée, occupe principalement la côte orientale du Queensland[1].

Rappelons-nous maintenant que la série des flores terrestres ne s'est conservée que dans l'Est; remarquons aussi, relativement à la signification de la faune des eaux douces pour l'histoire des transgressions marines, que le genre *Ceratodus*, qui vit encore au Queensland, se trouve aussi dans les couches mésozoïques du Sud du Victoria[2]. Des restes de la faune antarctique se rencontrent avec la faune Papoue, qui est tout autre et plus différenciée.

b. Patagonie. — Les découvertes des frères Ameghino, et plus tard les travaux de Hatcher, Ortman, Gaudry, Sinclair, et d'autres savants, nous ont révélé en Patagonie une série de faunes qui diffèrent profondément des Mammifères de l'hémisphère Nord. Il n'existe peut-être pas un seul genre commun aux deux domaines, et cependant on observe un certain parallélisme dans l'évolution. Malheureusement, l'accord n'est pas encore absolu quant aux données stratigraphiques. Les observations toutes récentes de Roth[3] confirment l'assertion, souvent contestée, que des Dinosauriens existaient encore en même temps que la plus ancienne faune de Mammifères (faune à *Notostylops*), contrairement à ce que l'on constate dans l'Amérique du Nord[4] et en Europe. En Patagonie, les Carnivores sont exclusivement des Créodontes, les Édentés sont déjà représentés par un animal de grande taille, le *Palaeopeltis*. Nous avons vu précédemment que l'existence des Ganodontes dans l'étage de Puerco était un indice qu'on devait s'attendre à trouver, dans les horizons inférieurs, des précurseurs du groupe des Édentés.

Il est impossible d'entrer dans le détail de cette faune remarquable. Dans l'Amérique du Nord et en Europe, les mouvements négatifs qui ont marqué le passage du Jurassique au Crétacé, puis du Crétacé au Tertiaire, ont eu un caractère oscillatoire; en Patagonie, les indi-

1. C. Hedley, *A zoogeographic Scheme for the Mid-Pacific* (Proc. Linnæan Soc. New South Wales, XXIV, 1899, p. 391-417). [Voir aussi le résumé critique de L. Germain, *La faune marine de l'Australasie et les anciennes extensions continentales, d'après quelques travaux récents* (Annales de Géogr., XXI, 1912, p. 369-372, 1 carte).]

2. A. Smith Woodward, *On a Tooth of Ceratodus and a Dinosaurian Claw from the Lower Jurassic of Victoria, Australia* (Annals and Mag. of Nat. Hist., 7th ser., XVIII, 1906, p. 1-3, pl. I).

3. Santiago Roth, *Beitrag zur Gliederung der Sedimentablagerungen in Patagonien und der Pampasregion* (Neues Jahrbr. f. Min., Beilage-Bd. XXVI, 1908, p. 92-150, pl. XI-XVII); ces données nouvelles rectifient également ce qui a été dit au tome II (p. 513-518) sur les terrains tertiaires de la Patagonie. [Voir aussi III, 3e partie, p. 1333 et suiv. — Pour un article d'orientation sur les faunes tertiaires de l'Amérique australe, voir A. Thevenin, *Les Mammifères fossiles de Patagonie* (Revue Scientifique, XLVIII, 1910, 2e sem., p. 711-718). Consulter en outre l'ouvrage de W. B. Scott, *A History of Laud Mammals in the Western Hemisphere*. In-8°, xiv-693 p., 304 fig., New York, 1913, notamment chap. VII, p. 192-287.]

[4. On a vu plus haut que la même association avait été récemment mise en lumière dans l'Amérique du Nord (voir p. 1670, note 1).]

cations fournies par Roth permettraient peut-être de reconnaître une phase oscillatoire plus accusée.

La faune suivante, ou faune à *Pyrotherium*, contient des formes nombreuses, dont une partie est de grande taille, et les différents groupes continuent à se développer dans la troisième faune, ou faune de Santa-Cruz [1], que l'on rapporte à l'Oligocène supérieur ou au Miocène; cependant, à ce niveau, les Carnassiers restent petits et appartiennent tous au sous-ordre des Créodontes: on ne voit apparaître ni Proboscidiens ni Paridigités, tandis que les Édentés ont déjà acquis leurs griffes puissantes. Au-dessus vient la faune beaucoup plus récente des Pampas, avec *Megatherium*, *Glyptodon*, et d'autres genres, descendants géants des anciens Édentés.

Le domaine des trois premières faunes patagoniemes ne présente aucunement les caractères d'un asile ancien. On y connaît des transgressions crétacées et les flores anciennes font défaut. Là comme au Nouveau-Mexique, nous n'avons probablement affaire qu'à la bordure d'un continent. Gaudry a fait remarquer avec raison que cette faune complexe suppose un domaine bien plus étendu que la Patagonie actuelle [2]. Or les Iles Malouines ou Falkland, situées au large de la Patagonie, offrent bien réellement le caractère le plus distinctif des asiles : la flore du Gondwana inférieur y repose sur des terrains anciens [3], et l'on est amené à penser que la patrie du *Notostylops*, du *Pyrotherium* et de tous ces animaux étranges s'est étendue bien au-delà de la Patagonie actuelle, du côté de l'Océan.

La faune de Santa-Cruz même est sans aucun doute beaucoup plus ancienne que la faune « eurynotique » d'Australie, dont les précurseurs géants remontent à peine à l'époque tertiaire. Cependant, déjà dans la faune de Santa-Cruz, les rapports avec l'Australie se multiplient. Sinclair a reconnu, parmi les Marsupiaux de cette faune patagonienne, les ancêtres ou les parents des groupes australiens des Thylacinidés et des Diprotodontes; à côté, on voit apparaître des genres apparentés aux Didelphes qui habitent aujourd'hui l'Amérique du Sud [4].

[1. Sur cette faune si remarquable, consulter W. J. Sinclair, *Marsupialia of the Santa Cruz Beds* (Reports of the Princeton University Expeditions to Patagonia, 1896-1899, IV, Paleontology, part 3, 1906, p. 333-460, pl. XL-LXV); W. B. Scott, *Mammalia of the Santa Cruz Beds* (Ibid., V, 1903-1905, p. 1-499, pl. I-LXXI); W. J. Sinclair, *Typotheria of the Santa Cruz Beds* (Ibid., VI, part 1, 1909, p. 1-110, pl. I-XI; résumé, Proc. Amer. Phil. Soc. XLVII, 1908, p. 64-78).]

2. Alb. Gaudry, *Fossiles de Patagonie. Étude sur une portion du Monde Antarctique* (Annales de Paléont., I, fasc. 3, 1905, p. 101-143, 27 fig.; en particulier p. 108).

[3. Voir III, 3e partie, p. 1345, et fig. 306, p. 1346.]

4. W. J. Sinclair, *The Marsupial Fauna of the Santa Cruz Beds* (Proc. Amer. Phil. Soc., XLIV, 1905, p. 73-81, pl. I, II). Pour une comparaison avec l'Europe, voir Ch. Depéret, *Les transformations du monde animal*. In-8°, Paris, 1907, p. 318 et suiv.

Hedley a essayé de tracer sur une carte la limite entre les îles australiennes peuplées par migrations (ou îles continentales) et celles qui l'ont été sous l'influence des courants (fig. 421). La limite coïncide avec celle des deux arcs australiens intérieurs, en embrassant également les Iles Viti. On voit la faune Papoue, partie de la Nouvelle-Guinée, envahir l'Australie au Sud et atteindre les Nouvelles-Hébrides au Sud-Est. Un deuxième courant, dont l'origine est considérée comme antarctique, part

Fig. 421. — Routes de peuplement du Pacifique Occidental, d'après Ch. Hedley (*Proc. Linnean Soc. New South Wales*, XXIV, 1899, p. 404).

1. Limites du plateau continental; 2. Limite entre les îles peuplées par migrations (Sud-Ouest) et les îles peuplées sous l'influence des courants (Nord-Est); 3. Routes de peuplement d'origine antarctique; 4. D° d'origine papoue; 5. D° accidentel (vents, courants). — Échelle de 1 : 60 000 000.

de la Nouvelle-Zélande et, par l'Ile Norfolk, gagne la Nouvelle-Calédonie. Ce que nous avons dit du *Palæeudyptes* et des Pingouins confirmerait cette interprétation. Il est fort possible, comme on l'a déjà vu, qu'il subsiste en outre des traces d'origine antarctique, venues peut-être par l'Ile Auckland. Hedley considère ce dernier élément comme antérieur à la faune eurynotique de l'Australie, ce qui nous amènerait à conclure que cette même faune eurynotique, si riche en Mammifères aplacentaires, et que nous sommes habitués depuis longtemps à regarder comme la plus ancienne des faunes vivantes, se présente, si on la compare à celles de la Patagonie et de la Nouvelle-Zélande, comme le dernier terme fossile de la série évolutive de l'Antarctide. Il y a tout lieu de supposer que c'est à l'isolement qu'elle doit d'avoir conservé ses particularités.

Dès ce premier regard jeté sur les arcs pacifiques, on voit qu'ici, à la différence de ce qui est vrai du domaine atlantique, il faut s'attacher à suivre de longs alignements. Tout au plus la partie orientale de l'Océan Pacifique ferait-elle exception : les îles y sont groupées suivant le type atlantique, et les Galapagos sont peut-être un horst de carapace (*Panzerhorst*), comme l'Islande et Kerguelen, ce qui cadrerait avec l'opinion de Baur sur l'origine continentale de leur faune[1].

Les arcs pacifiques, en particulier les guirlandes insulaires et aussi les Antilles tropicales, présentent des indices de jonctions et de séparations qu'il est trop tôt pour vouloir démêler. M. Steindachner m'apprend que *Cobitis tænia*, qui est, comme l'on sait, un Poisson très commun dans les rivières européennes, vit non seulement au Japon, mais aussi à Formose. La découverte de Mastodontes à Bornéo, Bangka, Sumatra et Java fournit un autre exemple de ces relations complexes, et la tentative faite par P. et F. Sarasin pour débrouiller les phases successives du peuplement de Célèbes montre la difficulté de la tâche[2]. —

Les grands asiles qui ont servi de refuge aux animaux terrestres jouent le même rôle pour les flores terrestres et pour les habitants des rivières, différemment toutefois dans chacun des trois cas. Pour ce qui est des mers, nous manquons jusqu'ici de toute base pour des considérations du même genre. Même en ce qui concerne les asiles terrestres, il conviendra peut-être d'adjoindre d'autres régions, Bornéo par exemple, à ceux que nous avons indiqués, et il est certain qu'en dehors même de ces asiles les hautes montagnes ont pu servir de refuges à certaines époques. Quant à savoir s'il convient d'appliquer aux asiles la vieille notion des « centres de création », c'est là une question qui n'admet guère de réponse, s'il est vrai, comme les exemples précédents le montrent clairement, qu'espèces et genres peuvent apparaître dans les circonstances et les lieux les plus différents, et ensuite émigrer en masse ou périr. Ce qu'on remarque, c'est une distribution éminemment uniforme de la flore et de la faune, à la limite du Carbonifère supé-

1. G. Baur, III, 3e partie, p. 1060, note 1. [Voir aussi F. Sarasin, *Die Fauna des Galapagos-Inseln* (Verhandl. Schweizer. Naturforsch. Gesellsch., 93. Jahresversammlg., Basel, 1910, I, p. 292-294).]

2. P. und F. Sarasin, *Ueber die Geologische Geschichte der Insel Celebes auf Grund der Thierverbreitung* (*Materialien zur Naturgeschichte der Insel Celebes*, III). In-4°, VI-169 p., 16 pl. cartes, Wiesbaden, 1901 ; K. Martin, *Ein zweiter Beitrag zur Frage nach der Entstehung des Ostindischen Archipels* (Geogr. Zeitschr., XIII, 1907, p. 425-438) ; H. Höfer, *Das polynesische alteozäne Festland* (Sitzungsber. K. Akad. Wiss. Wien, Mathem.-Naturw. Kl., CXVII, 1908, Abt. 1, p. 513-518). [Voir aussi M. Weber, *Der indo-australische Archipel und die Geschichte seiner Tierwelt*. In-8°, 46 p., 1 carte, Jena, 1902 ; Th. Barbour, *A Contribution to the Zoogeography of the East Indian Islands* (Mem. Mus. Comparat. Zool. Harvard College, XLIV, n° 1, 1912, p. 1-203, pl. 1-8).]

rieur et du Permien, dans la plupart de ces asiles, et, là même où elles font défaut, par exemple dans la Laurentia, on constate une grande concordance dans le stade d'évolution atteint par la faune terrestre à l'époque permienne. Il y a plus. L'autonomie des faunes tertiaires de l'Antarctide (Australie + Patagonie) est indéniable; mais il n'est pas moins indiscutable que leur terme initial, ou du moins leur plus ancien élément, correspondant aux Monotrèmes ou aux Marsupiaux, n'est pas essentiellement différent de celui des faunes de l'hémisphère boréal, et que même la division en Édentés, Ongulés, etc., est analogue; l'évolution des faunes boréales et équatoriales d'une part, de la faune australe de l'autre, a tendu par des voies semblables vers des buts semblables, bien que la faune australe, même dans son terme le plus récent, la faune Eurynotique, n'ait pas atteint le degré de développement des faunes boréales et équatoriales, logées plus au large. C'est ce qui ressort du contraste entre la faune Papoue et la faune indigène, dans le Nord et l'Est de l'Australie.

Sans poursuivre davantage l'examen de ces questions biologiques, revenons à la constitution des asiles. Ils coïncident en partie, mais non complètement, avec des unités tectoniques. Bien que le Nord de la Russie d'Europe présente des couches cambriennes horizontales et une flore et une faune de l'époque du Gondwana, les transgressions marines ultérieures ont empêché de la compter au nombre des asiles. Il serait facile de trouver d'autres exemples.

Les asiles présentent le caractère de terres anciennes non seulement dans la faune de leurs rivières, mais encore dans l'ordonnance de leur hydrographie. Les lacs sans écoulement font à peu près complètement défaut, à moins qu'ils n'occupent des fosses d'effondrement. Le Victoria Nyanza résulte peut-être aussi d'un affaissement local. En Afrique, le Sahara excepté, les rivières, par l'effet de l'érosion régressive, ont si bien rapproché leurs sources, que leurs cours supérieurs s'influencent réciproquement, et que la faune fluviatile est devenue homogène. C'est la sous-région *mégapotamique* de Boulenger, qui embrasse le Nil, le Niger, la Gambie, le Sénégal, le Congo, le Zambèze et le Lac Tchad[1].

1. G. A. Boulenger, *The Distribution of African Fresh-Water Fishes* (British Assoc. Adv. Sc., Report of the 75 th. meeting, South Africa, 1905, p. 412-432; reprod. dans Nature, London, LXXII, 1905, p. 413-421). [Voir aussi, pour les Poissons, les travaux récents de J. Pellegrin : *Sur la faune ichtyologique du Lac Tchad* (C. R. Acad. Sc., CXLVIII, 1909, 1er sem., p. 1343-1346); *Sur la faune ichtyologique du Lac Victoria* (Ibid., CXLIX, 1909, 2e sem., p. 166-168); *Nouvelle contribution à la faune ichtyologique du Lac Victoria* (Ibid., CLV, 1912, 2e sem., p. 1544-154); *La distribution des Poissons d'eau douce en Afrique* (Ibid., CLIII, 1911, 2e sem., p. 297-299); *Voyage de Ch. Alluaud et R. Jeannel en Afrique Orientale, 1911-1912. Poissons du Lac Victoria* (Mém. Soc. Zool. de France, XXVI, 1913, p. 57-71, 1 pl.); *Les Poissons du Bassin du Tchad* (Documents Scientifiques de la Mission Tilho (1906-1909), III. In-8°, Paris, 1914, p. 131-282, 35 fig., 1 pl.); — pour les Mollusques : L. Germain, *Essai sur*

Nous avons vu que les cours d'eau qui se jettent à l'Est et à l'Ouest dans le Golfe du Bengale ont été peut-être tributaires d'un prolongement aujourd'hui submergé du Gange. Les types de Poissons les plus anciens vivent tous dans les asiles : *Ceratodus* en Australie (Antarctide), *Polypterus* et *Protopterus* en Afrique (partie orientale du Continent de Gondwana), *Lepidosiren* au Brésil (partie occidentale du Continent de Gondwana), enfin *Amia* et *Lepidosteus* dans l'Amérique du Nord (Laurentia).

Les restes de faune sarmatique du Baïkal indiquent un asile situé à peu de distance en dehors du continent de l'Angara, dans un *graben*[1]. Le Tanganyka est un autre asile également logé dans un fossé. Moore considère sa remarquable faune résiduelle comme le reste d'une transgression jurassique; Boulenger inclinerait plutôt pour une transgression éocène; depuis que la Méduse du Lac Tanganyka a été découverte dans le Victoria Nyanza et dans le Niger, on est de plus en plus porté à admettre qu'une migration d'espèces marines de ce genre peut encore se produire actuellement[2]. C'est à peu près ce que nous avons dit des Mysidés de la Volga. Nous nous contenterons de remarquer qu'on ne connaît jusqu'ici de transgression marine jurassique ou éocène qu'à de grandes distances du Tanganyka, et que même la transgression la plus étendue dans l'Afrique Centrale, celle du Crétacé supérieur, n'est pas connue dans la région des effondrements de l'Afrique Orientale. Du côté de l'Est, d'après les observations de Bornhardt (couches de Makondé), elle ne remonte pas non plus sur le plateau ancien dans lequel s'enfonce le Nyassa. Par contre, le Tanganyka possède le genre *Pyrgulifera* ou *Paramelania* de Moore (fig. 422), qui était largement répandu *dans les eaux douces ou saumâtres du Crétacé supérieur*, en Europe comme dans l'Amérique du Nord (fig. 423). En Hongrie particulièrement, ce genre se rencontre

la Malacographie de l'Afrique Équatoriale (Archives de Zool. expérim. 4e sér., VI, 1907, p. 103-135); *Recherches sur la faune malacologique de l'Afrique Équatoriale* (Ibid., 5e sér., I, 1909, p. 1-195, pl. I, II, dont 1 carte); *Communication sur la faune des lacs Mocro et Bangouélo* (Bull. Soc. Zool. de France, XXXVIII, 1913, p. 189); *Origine de la faune fluviatile de l'Est Africain* (IXe Congrès Internat. de Zool., Monaco, 1913. In-8°, Rennes, 1914, p. 559-571, 3 fig. cartes).]

[1. Voir A. de Korotneff, *Résultats d'une Expédition zoologique au Lac Baïkal pendant l'été de 1902* (Archives de Zool. expériment., 4e sér., II, 1904, p. 1-26, 12 fig., 1 pl.); Th. Arldt, *Der Baikalsee und seine Lebewelt* (Arch. f. Hydrobiol. u. Planktonk., III, 1908, p. 189-202).]

2. Un résumé général est donné par Ch. Gravier, *La Méduse du Tanganyika et du Victoria Nyanza*; *sa dispersion en Afrique* (Bull. Muséum d'Hist. Nat., Paris, 1907, p. 218-224, 1 pl. carte). [Voir aussi le bel ouvrage de J. E. S. Moore, *The Tanganyka Problem*. In-8°, xxiv-371 p., fig. 23 pl. dont 3 cartes géol. London, 1903; C. F. Ancey, *Réflexions sur la faune malacologique du Lac Tanganika, et Catalogue des espèces de ce lac* (Bull. scientif. de la France et de la Belgique, XL, 1906, p. 227-270); J. Pellegrin, *La faune du Lac Tanganyika* (Rev. Scientif., XLVI, 1908. 1er sem., p. 680-684); E.-L. Bouvier, *Sur les caractères, les affinités et les origines de la faune atyienne du Lac Tanganyika* (IXe Congrès Internat. de Zool., Monaco, 1913, p. 572-578).]

en abondance, associé aux couches de houille de la formation de Gosau [1].

Les réseaux hydrographiques des asiles débouchent presque tous dans l'Océan Atlantique ou dans l'Océan Arctique. L'hémisphère atlantique, avec son ample domaine fluvial, représente celui des terres, tandis que l'hémisphère pacifique est celui des mers et, étant donnée la jeunesse relative de l'Océan Atlantique, les affaissements qui y ont morcelé les asiles apparaîtront presque comme un effort de la planète pour reprendre son équilibre.

Dans le tableau d'ensemble que nous avons donné de l'Asie (III, 1re partie, p. 410-415), on a vu que toutes les régions anciennes possédaient des réseaux hydrographiques bien développés et pourvus d'écoulement vers la mer. Il en est de même de tous les asiles. On n'y voit pas de régions comme la Caspienne ou le Gobi. Au Sahara, le Djouf est situé sur la couverture crétacée. La différence entre les régions centrales et les régions périphériques et leur valeur inégale pour le développement de la vie ont été nettement exposées par Richthofen. *Tous les asiles sont des régions périphériques au sens de Richthofen.* Il existe bien aussi, en dehors des asiles, des régions qui occupent une position périphérique, par exemple le domaine du Lac de Laramie et la plupart des pays méditerrannéens. D'un autre côté, les parties polaires des asiles ont cessé, depuis l'époque tertiaire, et par l'effet du climat, de jouer le rôle de refuges. Mais les autres asiles sont *des régions de la plus haute valeur pour le peuplement du Globe.*

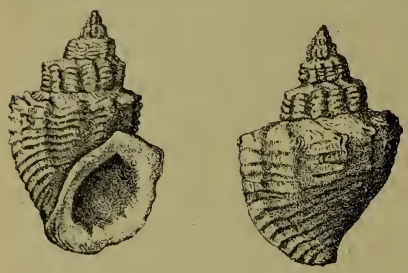


Fig. 422. — *Paramelania Damoni*, d'après J. E. S. Moore (*The Tanganyka Problem.* In-8°, London, 1903, p. 245, fig. 27).

Grandeur naturelle.

Lorsqu'il se produit un affaissement vers le centre d'un océan, il en résulte un mouvement eustatique négatif du rivage, et un agrandissement de la terre ferme. Mais il est arrivé souvent que des affaissements de ce genre ont empiété sur les continents; et, s'il y a eu gain par exondation, il y a eu aussi perte par submersion. Or le gain ou la perte pour la vie se mesure non à la superficie, mais à la nature des aires affectées. Si l'on se représente qu'à l'origine la planète était recouverte par une « Panthalassa », tout était alors gain pour la terre ferme. Puis, à mesure que les mers se sont développées, les choses ont bien changé,

1. L. Tausch, *Ueber einige Conchylien aus dem Tanganyika-Sees und deren fossile Verwandte* (Sitzungsber. K. Akad. Wiss. Wien, Mathem.-naturwiss. Cl., XC, Abt. I, 1884, p. 56-70, pl. I, II).

et aujourd'hui il n'y a plus que vingt-huit centièmes de la surface qui soient à sec. Toute perte nouvelle intéressant les asiles (abstraction faite des terres polaires) est une perte sensible, et les territoires acquis sont loin de valoir toujours les territoires perdus. Et puis, au total, la perte en superficie l'a emporté sur le gain; c'est ce que prouve l'exiguïté des débris qui subsistent; et les terrasses des îles du Pacifique n'indiquent pas que les modifications en ce sens soient terminées. La grande enquête biologique poursuivie par les naturalistes du « *Challenger* » a conduit Murray à supposer qu'à l'époque paléozoïque, les océans étaient moins profonds qu'aujourd'hui et parsemés d'îles nombreuses; que les terres sont devenues depuis plus continues et plus élevées, et les océans plus limités et plus profonds[1].

Le géologue peut souscrire à cette conclusion dans tout ce qu'elle a d'essentiel. Les océans se sont rétrécis et approfondis, et en même temps les continents sont devenus plus hauts par suite d'affaissements. Les terres ont gagné en continuité pour la même raison, comme le montre l'histoire du Sahara et de la Mer Caspienne : mais ce ne sont là que les effets radiaux de la contraction. Quant aux effets tangentiels, ils se manifestent par la formation des chaînes de montagnes, qui a eu pour conséquence principale d'incorporer la Téthys aux masses continentales préexistantes. Des astronomes éminents ont essayé de distinguer des phases diverses dans la contraction de la Lune, correspondant chacune à un diamètre déterminé. On n'a pas pu reconnaître de phases semblables sur la Terre (III, 4e partie, p. 1566); si trompeuses que puissent être les moyennes, il n'en est pas moins singulier que les profondeurs moyennes de l'Océan Atlantique (—3 858 m.), de l'Océan Indien (—3 929 m.) et de l'Océan Pacifique (—4 097 m.) soient aussi voisines d'une même valeur (environ —4 000 m.).

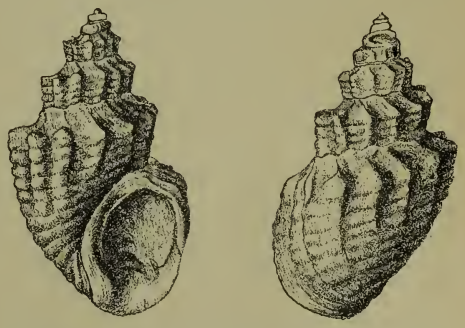


Fig. 423. — *Pyrgulifera humerosa* Meek, des couches crétacées de Bear River (États-Unis), d'après C. A. White (*A Review of the Non-Marine Fossil Mollusca of North America*; 3d Ann. Rept. U. S. Geol. Survey, 1881-'82, p. 498, pl. 6, fig. 4 et 5). Grandeur naturelle.

Même si la contraction du Globe ne manifestait qu'une tendance lointaine à donner au rayon terrestre une valeur nouvelle, si les affais-

1. John Murray, *Report on the Scientific Results of the Voyage of H. M. S. Challenger*; *A Summary of the Scientific Results*, II, 1895, p. 1462.

sements atlantiques, qui traversent nos asiles les plus précieux, étaient réellement dus à un effort de la planète pour conquérir son équilibre, il y aurait lieu de craindre que les demeures des animaux terrestres et des animaux d'eau douce ne continuent à diminuer d'étendue. Ce serait alors non pas la Vie tout entière, mais une fraction très importante de la Vie, et la plus élevée en organisation, qui serait vouée à la destruction finale, et qui ferait retour à la « Panthalassa ».

En présence de ces questions pendantes, jouissons de la lumière du Soleil, du firmament étoilé et de toute la variété de la Face de notre Terre, qui est due précisément à cette suite d'événements, et reconnaissons en même temps combien la Vie est dominée par les caractères et les destinées de la Planète.

EXPLICATION DES CARTES[1]

PL. XIII : ANALYSE SCHÉMATIQUE DE LA SURFACE TERRESTRE

(Voir ci-dessus, III, 4e Partie, Chapitre XXIII, p. 1361-1456.)

Bien que la connaissance de la structure de la surface terrestre soit encore pleine de lacunes, quelques traits essentiels peuvent cependant y être discernés. Dans l'hémisphère atlantique se présentent deux domaines caractérisés par leur grande antiquité, la LAURENTIA et le CONTINENT DE GONDWANA (teintés en *rose*). Le premier comprend une grande partie de l'Amérique du Nord, le Groenland et peut-être les Hébrides Occidentales, avec quelques-uns des promontoires occidentaux de l'Écosse. Au second appartient tout l'Est de l'Amérique du Sud, de l'Orénoque au Cap Corrientes, à peu près, puis l'Afrique presque entière, Madagascar et l'Inde. Ces deux domaines, dans toute leur étendue, répondent à des avant-pays et sont, par conséquent, antérieurs aux chaînes plissées qui viennent mourir sur leurs bords; dans l'un comme dans l'autre, il n'y a aucune trace de plissements récents, à l'exception de leur lisière occidentale, au Canada et en Argentine, où les plis des Montagnes Rocheuses et des Andes empiètent quelque peu sur l'aire occupée par la série des terrains de l'avant-pays. Cette série est caractérisée par ses lacunes, notamment du Carbonifère au Crétacé moyen. Lorsqu'il y existe des couches cambriennes, elles se montrent horizontales. Les Iles Malouines (ou Falkland) sont attribuées au Continent de Gondwana; peut-être serait-il plus juste de les regarder comme faisant partie de l'ANTARCTIDE. Peut-être arrivera-t-on à démontrer un jour qu'il existe dans le Sud un troisième domaine, analogue aux deux précédents.

Toutes les régions dont il vient d'être question sont morcelées par les affaissements atlantiques. Sans liens visibles se montre, en plein milieu de l'Europe, le massif précambrien de la Bohême. C'est un

[1. Traduit par Emm. de Margerie.]

horst indépendant. A l'Est des derniers vestiges de la Laurentia apparaissent les Calédonides (teinte *brune*). Leurs premières traces viennent peut-être au jour dans le Nord du Spitzberg. Elles forment la moitié occidentale de la Scandinavie, les Iles Orcades et Shetland et la majeure partie de la Grande-Bretagne. Leur direction est subméridienne; le terrain dévonien repose horizontalement, en discordance, sur leurs plis. Elles séparent le gneiss des Hébrides du Bouclier Baltique. En Scandinavie, elles sont déversées vers l'Est, en Écosse vers l'Ouest.

Les Saharides (*brun*), qui courent à travers tout le Sahara, jusqu'au Dahomey, ont en commun avec les Calédonides, pour autant qu'on les connaît, leur position et leur direction; mais la transgression discordante y commence déjà avec les schistes à Graptolithes du Silurien supérieur. Comme il subsiste encore quelques doutes sur le point de savoir si, en Écosse, le Silurien supérieur, au-dessous de la couverture dévonienne, prend encore part au plissement, on ne saurait prétendre que les Saharides ne se révéleront pas quelque jour comme le prolongement des Calédonides. Dès lors, il y aura lieu de distinguer, dans le Continent de Gondwana, une moitié orientale et une moitié occidentale.

L'Édifice Asiatique (*vert*) englobe, en Sibérie Orientale, le Continent de l'Angara, qui possède de nombreux traits communs avec les avant-pays anciens, la Laurentia et le Continent de Gondwana. En particulier, là encore, les couches cambriennes sont horizontales et il n'y a aucune trace de plissements récents. Toutefois, le Continent de l'Angara, quoique les chaînes qui l'enveloppent soient fréquemment affectées de plissements en retour, doit être regardé, dans l'ensemble, non pas comme un avant-pays, mais comme un arrière-pays. En outre, il n'est pas morcelé en fragments, comme les avant-pays précités. Du côté du Primorskii Khrébet (bord Ouest du Lac Baïkal) et au Sud d'Irkoutsk, ses limites sont nettement tracées; mais, vers le Nord, les plateaux de la Sibérie Orientale, qui en font partie, s'abaissent sous des transgressions mésozoïques, et à l'Ouest du Iénisséi, jusqu'à l'Oural, le manteau des alluvions récentes ne permet guère d'en préciser le dessin.

Cette partie interne de l'Édifice Asiatique est entourée par une immense ceinture de chaînes plissées, qui se disposent en arcs de cercle convexes vers l'extérieur. Elles se montrent dans la Terre d'Ellesmere, forment les guirlandes insulaires de l'Asie Orientale (des Okhotides aux Philippines) et les arcs méridionaux de bordure (de l'Arc Birman à la Méditerranée), et sont représentées suivant un type un peu différent dans les Ouralides. La Plate-forme Russe et le

Bouclier Baltique sont situés en dehors de ce dernier faisceau; là aussi, comme dans l'intérieur de l'édifice, les couches cambriennes demeurent horizontales.

Les arcs plissés sortent des faîtes; un faîte d'origine très ancienne entoure Irkoutsk (faîte du Baïkal), un autre forme les montagnes de Minoussinsk et est antérieur à l'époque dévonienne; un troisième constitue l'Altaï, c'est au cours de la période carbonifère qu'il a pris naissance. Un grand nombre d'autres faîtes subordonnés complètent le grand édifice, et leurs plis se résolvent souvent en virgations qui s'ouvrent de préférence vers l'Ouest ou le Sud-Ouest, comme s'ils se trouvaient sous l'influence de la rotation terrestre ou des marées planétaires. Cette remarque, il est vrai, ne s'applique pas à l'Arc Birman.

L'édifice n'est pas fermé. La première interruption se produit dans l'Alaska, pays construit tout à fait suivant le modèle des guirlandes de l'Asie Orientale, tandis que son faisceau de plis externe, les Monts Chugatch, se raccorde avec la Chaîne du Saint-Élie par voie de rebroussement normal, et que le faisceau interne, les Monts Roumanzov, poussés vers le Nord (plissement en retour), confluent non moins régulièrement avec les Montagnes Rocheuses. Celles-ci, qui, dans leur moitié septentrionale, sont plissées vers l'Est, puis se montrent refoulées contre les Plateaux du Colorado, avant de se décomposer en coulisses, doivent être regardées comme un rameau libre de l'Édifice Asiatique, plissé à rebours, comme les Monts Roumanzov, relativement à l'Asie.

La deuxième lacune répond à la branche Birmane, qui empiète largement sur le pourtour. Elle vient du faîte de l'Altaï et appartient au faisceau des Altaïdes Orientales.

La troisième brèche est faite par les Altaïdes Occidentales. Elles pénètrent en Europe au Sud du horst d'Azov, occupent le centre et le midi de cette partie du monde et atteignent la côte atlantique, sur un front d'une grande étendue, entre le Sud-Ouest de l'Irlande et l'Oued Draa. De même que pour l'Arc Birman, la chaîne externe dépasse ici toutes les autres en longueur, puis vient mourir à l'état d'extrémité libre. En effet, cette chaîne disparaît sous la mer dans les côtes à rias de l'Irlande et de la Bretagne, redevient visible dans celles de Terre-Neuve, constitue les Appalaches et atteint par ses derniers prolongements, au delà du Mississipi, le bord externe des Cordillères de l'Ouest. C'est ainsi que tout le Sud de la Laurentia est entouré, comme un avant-pays, par les prolongements de l'Édifice Asiatique.

A partir du horst d'Azov, le plissement s'est tourné vers le Nord : toute cette partie des Altaïdes Occidentales est donc, par rapport à

l'Asie, disposée dans le même sens que les Montagnes Rocheuses, c'est-à-dire à rebours.

C'est à la fin de la période crétacée que le plissement s'est arrêté, dans les Montagnes Rocheuses. Sur tout le pourtour de l'édifice, de l'Alaska jusqu'à la Méditerranée, le plissement a continué jusqu'aux temps tertiaires ou même plus tard. En Europe règnent des conditions différentes. Le plissement des Appalaches était achevé avant l'époque permienne. Dans le Nord de l'Oural, il ne paraît également y avoir des traces que de mouvements plutôt anciens; mais, au Sud, les Erghéni, qui sont de date très récente, doivent être regardés comme un prolongement des Ouralides.

Les longs faisceaux des plis asiatiques englobent des massifs antérieurs, qui sont probablement, à beaucoup d'égards, comparables au Continent de l'Angara, par exemple en Chine, au Siam et au Cambodge, et dans le Sud de Bornéo.

Tandis qu'à partir de l'Ile de Guam le Sud-Est des arcs asiatiques est séparé des arcs des Océanides par des avant-fosses importantes, il semble que dans la Presqu'île de Berau (Nouvelle-Guinée), prolongée par quelques-unes des Iles de la Sonde, un massif ancien de ce genre (teinte *jaune*) soit visible le long de cette limite.

Les Océanides (teinte *violette*) sont, en ce qui concerne plusieurs de leurs éléments principaux, comme la Nouvelle-Guinée, presque inconnues; on sait cependant que leurs chaînes maîtresses représentent de véritables chaînes de plissement. Une grande virgation semble partir du Nord de la Nouvelle-Zélande. D'immenses arcs enveloppent l'Australie, qui se rattache probablement à l'Antarctide, et à laquelle revient sans doute, sous ces latitudes, un rôle d'arrière-pays analogue à celui que joue le Continent de l'Angara à l'intérieur des arcs asiatiques. C'est ce que permettrait probablement d'élucider l'exploration de Timor[1]. Viti Levu (*jaune*), et peut-être aussi Yap, paraissent représenter de petits fragments de massifs anciens, englobés dans les plis postérieurs.

Les Montagnes du Cap (*jaune*) sont le reste d'un grand système de montagnes, construit suivant le type des arcs de bordure asiatiques. Elles comprennent trois parties : les Cedarbergen à l'Ouest, les Zwartebergen au Sud, et les Monts Pondo, dont on ne connaît que quelques fragments peu étendus, à l'Est. Elles sont disposées tout à fait d'après le même plan que les hautes chaînes de l'Inde; le Karroo est l'avant-pays, contre lequel les mouvements se sont arrêtés. Toutefois, les

[1. Sur la structure de Timor, voir les récents travaux de G. A. F. Molengraaff, mentionnés plus haut, p. 1361, note 4.]

poussées sont dirigées vers le Nord, et non vers le Sud comme en Asie. A l'Ouest, les Zwartebergen se relient aux Cedarbergen par un rebroussement régulier, tandis que leur extrémité orientale, du côté des Monts Pondo, est masquée par la mer.

L'existence de ce fragment tourné vers le Nord et servant de pendant aux arcs de bordure asiatiques peut être invoquée, à côté de la direction dominante des virgations, comme un nouvel argument en faveur de l'influence de la rotation de la Terre ou des marées sur la disposition du plan général.

Les Montagnes Intermédiaires et l'Édifice Andin (teinte *bleue*) forment, en comparaison avec le reste du dessin, la partie la plus difficile à interpréter de la face terrestre. Déjà, en dedans de l'arc des Aléoutiennes, jusqu'au Cook Inlet, apparaît une dépression curviligne, en forme de fossé, qui est caractérisée par des sédiments mésozoïques et par des volcans actifs. On retrouve les mêmes traits dans le groupe des Volcans de Wrangell, au delà du rebroussement; puis cette structure se poursuit dans la direction du Lynn Canal et du grand batholithe de la Colombie, dont nous avons considéré, dans cet ouvrage, les volcans récents de la Chaîne des Cascades comme un dernier prolongement. Les Basin Ranges reproduisent la même structure. Les roches anciennes des Coast Ranges de Californie peuvent être regardées comme indiquant le début de l'Édifice Andin. Leurs lignes directrices courent à travers la Basse-Californie et le Mexique, par la Sierra Madre del Sur, vers le Guatemala, s'infléchissent alors vers Cuba et la Jamaïque, retournent par la Trinidad et le Venezuela et atteignent, dans l'Ecuador, la partie sud-américaine de l'Édifice Andin. Là se séparent deux éléments, la Cordillera Real, qui est une chaîne de montagnes plissée vers l'Est et dont les plis, comme on l'a vu, empiètent sur l'avant-pays, et la Cordillera de los Andes, où reparaissent sur de longs espaces les caractères de la Chaîne Intermédiaire, c'est-à-dire les fossés linéaires, les sédiments marins d'âge mésozoïque et les volcans actifs. En Patagonie, les lignes directrices dévient une fois de plus vers l'Océan Atlantique, puis retournent au Sud en décrivant un grand arc de cercle, accompagné par les volcans des Sandwich Australes, qui représentent ceux des Petites Antilles, et atteignent enfin la Terre de Graham, dont la côte Ouest occupe la situation relative du Venezuela. On peut donc parler d'Antilles Septentrionales et d'Antilles Australes.

Les deux chaînes d'Antilles attestent, comme la Cordillera Real, un plissement vers l'Est. Les effondrements linéaires de la Cordillera de los Andes ne fournissent, à cet égard, aucune indication. Il est très digne de remarque qu'en Asie et dans les Antilles Septentrionales, les avant-fosses sont toujours situées à l'extérieur des chaînes plissées,

et que sur la côte occidentale de l'Amérique du Sud il existe une longue avant-fosse, quoique l'on n'y connaisse pas encore de chaîne plissée vers l'Ouest. Ce point ne pourra être éclairci que par une étude détaillée des parties les plus occidentales des Andes.

Les *volcans actifs* n'ont pas été indiqués sur la carte ; pour mettre en évidence leurs relations avec la structure, il aurait fallu figurer tout au moins les volcans éteints les plus récents et les batholithes mis à jour pendant les dernières périodes de l'histoire du Globe. On peut cependant formuler quelques règles générales : dans les territoires affectés par des plissements récents, les volcans actifs suivent les lignes directrices — c'est le cas, par exemple, pour les arcs périphériques de l'Asie. Par contre, ils manquent presque complètement dans les régions anciennes jouant le rôle d'avant-pays, à l'exception des parties affaissées sous la mer. Il y a une exception, l'Afrique; mais les volcans s'y succèdent suivant des lignes droites, qui sont indépendantes de tout plissement. Dans les affaissements atlantiques, les volcans actifs sont presque toujours disposés en groupes; la même règle paraît s'appliquer à la partie de l'Océan Pacifique qui s'étend à l'Ouest de l'Amérique du Sud (*hachures noires*).

Les volcans des Petites Antilles, et probablement aussi ceux des Shetlands Australes, sont comparables à ceux des arcs asiatiques. La dépression en forme de fossé des Aléoutiennes Orientales et des Monts Wrangell se distingue des fossés africains par cette circonstance que ses deux lèvres n'appartiennent pas à une même zone montagneuse, mais bien à deux rameaux différents; par contre, des *graben* typiques existent dans les Basin Ranges, et sans doute aussi dans la Cordillera de los Andes. La chaîne antarctique du Mont Erebus ne peut être assimilée aux volcans africains qu'à titre hypothétique.

PL. XIV : ESSAI D'UNE ANALYSE DE L'EUROPE,

d'après l'état de la Science en 1908.

Toutes les parties antérieures au Dévonien ont été laissées en *blanc*[1]. On doit leur attribuer : les territoires du Nord-Ouest de l'Écosse appartenant peut-être à la Laurentia, puis les Calédonides, le Massif Bohémien et la partie de l'Édifice Asiatique qui n'a pas été soumise à

[1. Une teinte supplémentaire (*jaune*) a été ajoutée sur la pl. XIV pour représenter les principaux fragments de l'Édifice Calédonien (Scandinavie, Écosse Occidentale), circonscrits par un simple trait sur la carte jointe à l'ouvrage original. Les limites qu'il a été nécessaire de tracer, en vue de compléter le tableau, pour le reste des Iles Britanniques, ont été établies d'après la *Geological Map of the British Islands based on the Work of the Geological Survey*, J. J. H. Teall, Director, 25 miles to 1 inch. 1 feuille, 1906.]

des plissements postérieurs, en particulier le Bouclier Baltique et la Plate-forme Russe. Au Sud de la carte, on a laissé en blanc, pour les mêmes raisons, le Sahara et les côtes de l'Afrique à l'Est des Syrtes, l'Égypte et la Syrie.

On a représenté en *vert* les chaînes plissées qui doivent être attribuées à la périphérie de l'Asie, une partie apparaissant au Nord, une autre au Sud de la carte. Au Nord, ce sont les Ouralides. Elles n'occupent pas, il est vrai, une situation périphérique, mais la façon dont les plis, à l'Est, s'étendent au loin sous les dépôts superficiels et l'allure des branches pénétrant jusque dans le Nord de la Scandinavie montrent, en dépit d'un arrêt au milieu du rameau principal (sur l'Oufa), leur liaison intime avec l'Asie et leur ressemblance avec la structure des arcs périphériques. La situation de la Plate-forme Russe et du Bouclier Baltique acquiert ainsi une certaine analogie avec celle des massifs anciens du Sud-Est de l'Asie, englobés dans les plissements plus récents.

Dans le Sud de la carte, les arcs de bordure normaux de l'Asie sont visibles, notamment une partie de l'Arc Iranien, venant se raccorder sous le méridien de Diarbékir avec l'Arc Taurique, qui, à son tour, dans l'Ouest de l'Asie Mineure, se relie étroitement aux Dinarides. Celles-ci s'insinuent entre les Alpes et les Apennins, en occupant la région des Lacs de la Haute-Italie.

Les Erghéni, dont l'âge est tertiaire (néogène), sont considérés ici comme un prolongement récent des Ouralides, tandis que les branches principales demeurent représentées dans les Mougodjars jusqu'au Plateau d'Oust-Ourt, entre la Caspienne et la Mer d'Aral. Dans les arcs de bordure, de même, les plissements ont continué jusqu'à une époque tardive de l'ère tertiaire.

Le *bleu* désigne les Altaïdes Occidentales, qui recoupent dans ces parages la périphérie de l'Asie. Cette brèche est mise en évidence par le contraste de la direction du Caucase (*bleu*) tant avec celle des Ouralides (*vert*) qu'avec celles des arcs de bordure successifs (*vert*). Les Altaïdes Occidentales prolongent la virgation du Tien-Chan; orientées W.N.W., elles atteignent non loin de Berdiansk le horst d'Azov, qu'elles longent pour une faible part du côté du Nord, tandis que la masse principale passe au Sud.

Au Nord, un premier alignement, venant de la Presqu'île de Manghychlak (au N.E. de la Caspienne) et jalonné par le cours supérieur du Manytch, aboutit au bassin houiller du Donetz (*bleu*). Il conserve son orientation W.N.W., et toute une série d'accidents rectilignes dont la direction est comprise entre N.W. et W.N.W., en Allemagne et jusqu'en Scanie, doit sans doute en être regardée comme

le prolongement (« lignes de Karpinsky », Fichtelgebirge, Teutoburger Wald, etc.; l'échelle de la carte n'a pas permis de les figurer). Ces accidents sont d'âge différent; souvent, leur flanc Sud se montre affaissé et chevauché par leur flanc Nord.

Le Caucase, qui est parallèle à ce faisceau, atteint par ses prolongements le bord Sud du horst d'Azov. Dans le Caucase, comme dans les arcs méridionaux de bordure et, à ce qu'il semble, dans toute la périphérie de l'Asie (à l'exception de la Mandchourie?), les plis récents s'emboîtent sur les lignes directrices des plis anciens, de manière qu'il se forme des chaînes homogènes, dont les terrains peuvent d'ailleurs présenter, dans leur succession, des discordances énergiques, notamment à la base du Carbonifère supérieur ou du Permien. C'est ce qui se produit encore dans les Dinarides; mais les chaînes des Altaïdes qui aboutissent au Sud du horst se comportent autrement. Le plissement qui, en Asie, était dirigé vers le Sud, et, dans le Caucase, en partie vers le Nord et en partie vers le Sud, tourne désormais d'une façon définitive vers le Nord, et en même temps les plis les plus récents (Altaïdes posthumes) se séparent dans l'espace de ceux où le plissement a cessé dès avant le dépôt du Carbonifère supérieur ou du Permien.

Les Altaïdes anté-permiennes (*bleu*) sont morcelées en horsts par des affaissements. Elles comprennent : l'Arc Varisque (des Sudètes à Valenciennes et du bord Est du Plateau Central jusqu'à la haute vallée de l'Allier), l'Arc Armoricain (Ouest du Plateau Central, Bretagne, Devonshire et Cornwall, lisière méridionale du Pays de Galles et de l'Irlande), la Montagne Noire (amorce sud-occidentale du Plateau Central avec les Cévennes, et, d'autre part, Montagnes de Barcelone), le massif Sardo-Corse, la Meseta Espagnole, le Haut-Atlas et, par delà un intervalle inexploré entre 4° et 5° de long. E., ses prolongements au Djebel Béchar, près de Figuig. Ils se poursuivent vers le Sud à travers le Sahara[1], et Gautier admet en outre l'existence, au Gourara, d'un rebroussement anté-permien[2].

Ces horsts encadrent les champs d'affaissement, à l'intérieur desquels les Altaïdes posthumes se sont dressées.

Tout d'abord s'intercale un fragment, la Chaîne Cimmérienne (*violet*; Crimée, Dobrogea, traces sur le bord externe des Carpathes), dont le plissement était achevé avant le dépôt du terrain Crétacé moyen. Vers Theodosia, des plis tertiaires récents, prolongeant le bord septentrional

1. H. Poirmeur, *Bull. Soc. Géol. de France*, 4e sér., VI, 1906, p. 724-728, pl. XXVI : carte géol.

2. E.-F. Gautier, *Ibid.*, p. 729-766, pl. XXVII : carte géol.; le fait est surtout visible par 29° lat. N. et 0° 10′ long. W.

du Caucase, enveloppent à la manière d'une fourche son extrémité orientale.

Ensuite viennent, marquées en *rose*, toutes les chaînes dont le plissement, à l'intérieur du cadre, a duré jusque vers le milieu ou la fin de l'ère tertiaire. Ce sont : les Alpides (Balkans, Carpathes, Alpes, Apennins, Atlas Méditerranéen, Gibraltar, Cordillère Bétique jusqu'à Majorque), les Maures, les plis Provençaux et les Pyrénées (y compris les Monts Cantabres), une série de fragments dont les connexions ne sont pas encore élucidées (Nord-Ouest et Sud-Ouest de la Sardaigne. Minorque, Montagnes du cours inférieur de l'Èbre; Montes Universales), enfin les plis récents qui surgissent à l'intérieur du Bassin de Paris et de Londres (le Pays de Bray et le Weald, par exemple) et ceux qui apparaissent au milieu de la dépression du Portugal Occidental (Sierra de Arrabida).

Il n'est pas rare que ces plissements posthumes englobent des parties plus ou moins étendues de l'édifice antérieur; des fragments antépermiens apparaissent déjà dans les Balkans et surtout dans la zone du Mont-Blanc; ils jouent un rôle important dans la structure des Pyrénées; on les retrouve dans l'Atlas Méditerranéen et ailleurs. Sur la carte, on n'a distingué que le Massif de Mouthoumet qui, complètement enveloppé par les plis Provençaux, précède les Pyrénées vers le Nord. Les éléments Cimmériens, c'est-à-dire pré-crétacés, ne manquent pas non plus, notamment dans les Carpathes Orientales.

Une partie des affaissements de la Méditerranée, tertiaires ou de date plus récente encore, nous fournit probablement l'image des événements qui ont amené la résolution des Altaïdes en horsts. Ces affaissements empiètent dans la Mer Égée sur les arcs de bordure et dans la Méditerranée Orientale sur la Plate-forme Africaine. Nulle part, en dehors des Altaïdes, des constructions posthumes n'ont pris naissance à leur surface; mais la Plate-forme Africaine semble bien s'être affaissée en avant du bord de l'Atlas Méditerranéen, et tel est également le cas pour la Plate-forme Russe en vue des Carpathes, peut-être aussi du côté du bassin houiller du Donetz[1].

Les affaissements sont représentés par des hachures horizontales.

Au Sud-Est, le fossé de la Mer Morte est compris dans les limites de la carte; le graben Rhénan, qui recoupe les Altaïdes, appartient au même groupe d'accidents.

1. V. Laskarev, *Bull. Comité Géol. St.-Pétersbourg*, XXIV, 1905, p. 235-295, pl. V : carte.

Pl. VII : EXTENSION DES NAPPES DE RECOUVREMENT DANS LES ALPES

(Tome III, 2e Partie, p. 927.)

Dans cette figuration schématique, un grand nombre de détails ont été omis, par exemple la zone intrusive jalonnant la limite des Dinarides; elle n'a d'autre objet que de servir d'introduction à l'exposé qui a été tenté plus haut (III, 2e Partie, p. 693-926). Sous cette forme simplifiée, la chaîne principale des Alpes se présente comme constituée par trois nappes poussées l'une par-dessus l'autre, du Sud vers le Nord; un élément étranger, les Dinarides, s'y accole, en s'insinuant du même coup entre les Alpes et les Apennins; il s'enfonce sous cette seconde chaîne et joue probablement un rôle dans la grande inflexion des Alpes Occidentales.

La première de ces nappes est la Nappe Helvétique (*bleu*), de laquelle se détache, entre l'Isère et le Rhône, la Chaîne du Jura. Cette chaîne est purement autochtone; l'intensité du plissement y diminue vers l'extérieur, sauf quand il se produit un serrage contre l'avant-pays, comme à la sortie de la vallée du Rhin vers l'Est.

Le mécanisme de l'entassement des nappes alpines devient peut-être plus facile à concevoir si l'on imagine qu'une avant-fosse importante, commençant entre le Jura et la Nappe Helvétique, s'étendait en avant des Alpes actuelles et en partie aussi sur l'emplacement de la Nappe Helvétique, jusqu'au bord oriental du Massif de la Bohême. De pareilles avant-fosses existent le long des arcs plissés de l'Asie et des Antilles Septentrionales et peuvent atteindre jusqu'à 7, 8, et même plus de 9 kilomètres de profondeur. Néanmoins, les Alpes Helvétiques peuvent quand même être qualifiées d'autochtones, car elles ont été de toute façon charriées sur des distances beaucoup moindres que les nappes suivantes. A l'Ouest, la zone du Mont-Blanc forme leur partie interne, concave; elle comprend, du Mercantour jusqu'au Massif de l'Aar, des noyaux montagneux dont la constitution reproduit celle de l'avant-pays Varisque. La série des terrains fossilifères débute avec les dépôts limniques du Carbonifère moyen ou supérieur.

La zone du Mont-Blanc se termine à l'Ouest du Rhin, et les zones extrêmes des Alpes Suisses sont les seules qui traversent le fleuve; plus loin, les terrains crétacés et tertiaires, affectant en majeure partie le faciès du Flysch, continuent seuls à représenter les Alpes Helvétiques, et cela jusqu'au delà de Vienne, dans les Carpathes.

La nappe Lépontienne (*rose*) est accompagnée à l'Ouest par une

bande de Flysch oligocène. Elle pénètre au voisinage même de la mer dans l'intérieur des Alpes et ses restes, pincés et encastrés dans les formations plus anciennes, peuvent être suivis, à l'Est des Alpes Helvétiques, jusqu'au Mont-Blanc, comme si là, à une époque aussi tardive, deux chaînes de montagnes indépendantes étaient venues s'accoler l'une à l'autre. Il convient d'attribuer à la Nappe Lépontienne l'ensemble des Alpes Piémontaises; cette zone, en partant du Sud, et en passant par le massif du Grand-Paradis, occupe tout l'espace compris entre les Alpes Helvétiques (zone du Mont-Blanc) et la Plaine du Pô, d'Ivrée et de Biella jusqu'à la limite des Dinarides et à la Haute Valteline.

Séparés de ce tronc principal, des lambeaux de recouvrement lépontiens apparaissent charriés par-dessus les Alpes Helvétiques. Les premiers se montrent déjà entre le Mercantour et le Pelvoux; dans cette région, la zone interne de Flysch a pris une part très active au charriage. Le phénomène se reproduit au Sud-Est d'Annecy, et prend une ampleur beaucoup plus grande dans le Chablais et dans les Alpes de Fribourg; puis une longue traînée de lambeaux plus petits se poursuit jusqu'au voisinage de Buchs, dans la vallée du Rhin. Ils consistent, en général, en paquets de couches triasiques et jurassiques étirées, se répétant plusieurs fois de suite; le faciès n'en est pas toujours identique, et il est fort possible que certains de leurs éléments proviennent de zones différentes des Alpes. Mais tous viennent du Sud, et une grande partie au moins provient du domaine Lépontien; c'est ce que prouvent non seulement les caractères spéciaux des terrains, mais aussi le fait qu'à l'Est, à peu de distance du cours du Rhin, les nappes Lépontiennes s'enfoncent sous les Alpes Orientales sur des distances telles que le recouvrement des Alpes Helvétiques dans toute leur largeur en découle comme une conséquence nécessaire.

Ces lambeaux ne manquent pas non plus au delà du Rhin. Quelques traces apparaissent en Bavière, près d'Hindelang, à la limite des terrains helvétiques et des terrains austro-alpins; on les retrouve avec une extension bien plus grande, affleurant en fenêtres sous la série austro-alpine. Une de ces fenêtres lépontiennes s'ouvre le long de l'Inn, entre la Silvretta et l'Oetz, sur une distance de 54 kilomètres; une autre, beaucoup plus vaste encore, forme, sur 165 kilomètres, la Chaîne des Tauern; un pointement plus petit existe au Semmering.

Dans les Tauern et au Semmering, la série des couches visible à travers ces fenêtres débute, comme dans les Alpes Helvétiques, par des couches d'eau douce à empreintes végétales appartenant au terrain houiller moyen ou supérieur. Du Semmering, une traînée de lambeaux carbonifères de ce genre s'étend vers le S.W. par la vallée de la

Mürz, puis vers le N.W. dans la direction de Liezen (*semis de petites croix noires*); la signification tectonique de ces gisements est incertaine. Il en est de même pour la bande de marbre d'âge inconnu, peut-être mésozoïque, qui, partant de l'extrémité occidentale de la fenêtre des Tauern, se dirige vers l'Ouest; une seconde bande analogue, prenant la direction du Sud-Ouest, traverse l'Adige (*semis de petits cercles*).

Au Nord-Est, on remarque à partir de Gmunden, jusqu'à Vienne, au voisinage immédiat du bord méridional de la zone du Flysch (qui est l'équivalent des Alpes Helvétiques), la fréquente apparition locale d'une série mésozoïque possédant un grand nombre de traits communs avec les lambeaux de recouvrement lépontiens, et ressemblant peut-être davantage encore à celle des Piénines (*petits cercles noirs*).

La partie occidentale de la limite, du côté des Dinarides, est jalonnée par une traînée de roches vertes, intrusives, la Zone d'Ivrée. Des roches vertes analogues possèdent une très grande extension, et non seulement dans les Alpes Piémontaises, du Sud jusqu'au delà du Monte della Disgrazia, mais aussi dans les lambeaux de recouvrement charriés et dans la fenêtre de l'Inn; on les retrouve également dans les Tauern. Encore que les opinions sur leur nature réelle soient divergentes, ces roches n'en demeurent pas moins comme un témoignage de l'étroite parenté de tous ces fragments de la Nappe Lépontienne.

La Dent Blanche (*hachures obliques*) représente une nappe distincte, paraissant provenir du voisinage immédiat de la limite dinarique. Dans ce massif, des terrains lépontiens sont superposés à des terrains lépontiens.

La Nappe austro-alpine (*chamois*) s'étend du Rhætikon jusqu'à la Plaine Hongroise. Au Nord, elle comprend une large zone calcaire mésozoïque, qui est disposée en longs plis passant, vers l'Est, à une suite de nappes et d'écailles poussées vers le Nord. Son substratum, par opposition avec ce que l'on observe dans d'autres parties des Alpes, est constitué, à partir du Tyrol Oriental et en allant vers l'Est, notamment en Styrie, par une série marine d'âge silurien, dévonien et carbonifère inférieur. Le terrain houiller d'eau douce est inconnu. Au-dessous de la série paléozoïque, les roches précambriennes se présentent avec un développement considérable; la partie occidentale des Alpes Calcaires leur est directement superposée, ainsi que le groupe de l'Ortler, puis la série mésozoïque de la Vallée de la Drave et de la Vallée de la Gurk en Carinthie, où le faciès des terrains reproduit celui des Alpes Calcaires. Dans le domaine de la Drave, il existe de grandes cassures longitudinales. A l'Est, quelques étages du Silurien et un Dévonien bien développé s'étendent jusqu'à Graz. La limite, du côté de la Plaine Hongroise, est formée par des effondrements circu-

laires et est accompagnée d'une zone de trachytes et de basaltes tertiaires.

La Nappe Austro-Alpine est donc poussée vers le Nord sur des terrains helvétiques et interrompue en son milieu par des fenêtres lépontiennes ; au Sud, les Dinarides s'y adossent, et l'on doit admettre qu'elle s'enfonce sous les Dinarides[1]. Tandis qu'à l'Ouest des roches vertes intrusives jalonnent cette limite, des batholithes tonalitiques et granitiques affleurent plus à l'Orient sur une longueur de près de 400 kilomètres. Ils se trouvent tantôt en territoire alpin et tantôt en territoire dinarique, ou bien à la limite entre l'un et l'autre. Tout à fait à l'Est apparaissent, en outre, des Andésites oligocènes, dont on peut, en s'appuyant sur des analogies lointaines, soupçonner le lien génétique avec les tonalites.

Les Dinarides (*vert*) sont étrangères aux Alpes. Leurs plis se succèdent avec une grande régularité à travers la Bosnie et l'Archipel Dalmate, et passent peu à peu, en Carniole, de la direction N.W. à la direction E.-W. Des recouvrements dirigés vers l'intérieur se produisent au point où s'accuse cette déviation. Le faisceau s'avance ensuite jusqu'à Meran et disparaît, du côté du Sud, sous la plaine du Pô. L'anse comprise entre Padoue, Schio, Gorizia et Pola répond à un champ d'affaissement indépendant.

Les Dinarides représentent, par conséquent, une partie des arcs normaux de bordure qui forment la périphérie méridionale de l'Édifice Asiatique, tandis que les Alpes, en tant que constructions posthumes, appartiennent aux Altaïdes, qui recoupent cette périphérie. Aux Dinarides s'appliquent, abstraction faite de la situation qu'elles occupent, deux particularités caractéristiques pour l'Asie : en premier lieu, elles sont plissées non pas vers le Nord, comme les Alpes, mais vers le Sud, puis, bien qu'on y observe une discordance très accusée à la base du Carbonifère supérieur, les plis plus récents n'y occupent pas une aire distincte, comme dans les Altaïdes posthumes.

Le soubassement est visible le long de la limite, sous la forme d'une bande étroite, dans les Alpes Carniques (*violet*). Cette bande est constituée par du Silurien, du Dévonien et du Carbonifère inférieur marin et semble, par opposition avec la masse principale des Dinarides, plissée vers le Nord. Mais il ne convient pas d'attacher à ce fait une grande importance, parce que, à la limite, un serrage vers le Nord paraît régner sur une certaine largeur. La série discordante débute, ici encore, par des couches carbonifères supérieures à empreintes végé-

[1. Pour une rectification, voir ci-dessus, p. 1505, note 1 (travaux de M. Lugeon et G. Henny).]

tales, mais dans lesquelles s'intercalent des sédiments marins, circonstance qui ne se reproduit nulle part ailleurs, dans les Alpes. A l'époque permienne, également, apparaissent des sédiments marins, inconnus plus au Nord, et le faciès des terrains mésozoïques diffère, de même, de celui des dépôts austro-alpins de même âge, dont ils ne sont séparés parfois que par une simple vallée. Au Permien appartient le massif porphyrique de Botzen.

Quand les Alpes tournent pour prendre la direction des Apennins, on voit apparaître sur le bord interne un plongement vers l'Ouest, probablement comme conséquence d'un plissement local à rebours, au point de courbure maximum. Plus au Sud, sur les bords de la Maira, de la Varaita et du Pô, plusieurs petits chaînons gneissiques se séparent et s'avancent vers la plaine à l'état d'extrémités libres, disposées en arc de cercle; près de Saluces, l'un de ces éperons arrive même à s'orienter N.N.E. Peut-être est-ce là le dernier écho du plissement à rebours. La partie occidentale des Alpes prolonge la direction du Mercantour, et c'est à elle qu'appartiennent les Alpes Ligures. Dans ces parages, la direction se rapproche de plus en plus de celle du méridien. Les Alpes Ligures peuvent être regardées comme un segment analogue à un horst, limité au Sud par l'effondrement Tyrrhénien et au Nord par les dépôts tertiaires de Turin, dont la direction est perpendiculaire, et qui représentent l'extrémité libre, rebroussée, du bord externe des Apennins.

Le prolongement ultérieur des Alpes doit être cherché dans le Nord-Est de la Corse, dans l'Ile d'Elbe, et, avec une direction progressivement divergente, dans les Apennins.

Toutes les données précédentes ne s'appliquent qu'aux mouvements post-cambriens; mais dans le Nord des États-Unis, en Finlande, en Bohême et dans d'autres régions, on a reconnu des mouvements précambriens indépendants, sur les rapports réciproques et le plan général desquels il n'est pas possible, dès aujourd'hui, de se prononcer.

ESSAI D'UNE ANALYSE DE L'EUROPE
d'après l'état de la science en 1908
Échelle 1 : 15 000 000
Calédonides
Soubassement anté-carbonifère
Ouralides et arcs méridionaux de bordure
Altaïdes
Affaissements des Altaïdes et des arcs de bordure
Chaîne Cimmérienne
Altaïdes posthumes et parties des Altaïdes reprises dans leurs plissements
Islande
Féroer
I. Shetland
Hébrides
MER DU NORD
MER BALTIQUE
MER BLANCHE
MER NOIRE
MER CASPIENNE
MER MÉDITERRANÉE
MER TYRRHÉNIENNE
Scanie
Bohême
Horst d'Azov
Crimée
CAUCASE
BALKANS
ARCHIPEL GREC
Crète
Sicile
Malte
Baléares
Corse
Sardaigne
HAUT ATLAS
ATLAS SAHARIEN
Chotts
Tripoli
Mer Morte
Le Caire
Stockholm
Petrograd
Moscou
Nijni Novgorod
Kiev
Varsovie
Berlin
Hambourg
Bruxelles
Londres
Dublin
Liverpool
Paris
Madrid
Lisbonne
Barcelone
Marseille
Rome
Naples
Vienne
Budapest
Munich
Bucarest
Constantinople
Salonique
Smyrne
Athènes
Tiflis
Erivan
Bakou
Astrakhan
Samara
Orenbourg
Ekaterinbourg
Arkhangelsk
Tromsø
Bergen
Copenhague
Helsinki
Riga
Wilna
Kaunas
Varsovie
Breslau
Cracovie
Budapest
Belgrade
Sofia
Andrinople
Trébizonde
Adana
Alep
Damas
Jérusalem
Le Caire
Tunis
Alger
Oran
Rabat
Tanger
Gibraltar
Malaga
Valence
Lyon
Marseille
Bordeaux
Brest
Le Havre
Cherbourg
Calais
Anvers
Amsterdam
Hamburg
Francfort
Stuttgart
Zurich
Milan
Turin
Genève
Bâle
Cologne
Essen
Dresde
Prague
Cracovie
Lwow
Kharkov
Rostov
Saratov
Kazan
Perm
Tobolsk
Omsk
Tomsk
Irkoutsk
Yakoutsk
Vladivostok
Harbin
Pékin
Tokio
Osaka
Kyoto
Nagasaki
Shanghaï
Hong Kong
Singapour
Calcutta
Bombay
Karachi
Téhéran
Bagdad
Mecque
Khartoum
Le Caire
Mer Morte
Euphrate
Tigre
Indus
Gange
Brahmapoutre
Yangtsé
Fleuve Jaune
Mekong
Irrawaddy
Salween
Ob
Yenisei
Lena
Amour
Volga
Don
Dniepr
Dniestr
Danube
Rhin
Elbe
Oder
Vistule
Loire
Garonne
Rhône
Tagus
Douro
Ebre
Tibre
Po
Arno
Niger
Congo
Nil

ÉPILOGUE

La publication de cet ouvrage, édition française de *Das Antlitz der Erde*, s'achève dans le deuil. L'épilogue que l'on m'a demandé d'écrire et que, jadis, en des années heureuses, j'avais rêvé d'offrir au vieux Maître comme un hommage d'admiration, d'affection et de reconnaissance, ne sera, hélas ! ni lu, ni entendu par lui; et en traçant ces lignes je n'y puis mettre ni l'enthousiasme, ni la joie de mon rêve, parce que l'heure est sombre et qu'il coule trop de sang et trop de larmes sur les chemins d'épouvante où se traîne l'humanité. Eduard Suess est mort à Vienne, dans la nuit du 25 au 26 avril 1914; il s'est éteint paisiblement, sans souffrances, sans angoisses, sans avoir eu le pressentiment des malheurs qui allaient fondre sur l'Europe. Beaucoup penseront avec moi qu'il a bien fait de mourir, dans ce printemps insoucieux, avant-coureur d'un été de massacres. Parfaitement bon, généreux, dévoué aux autres hommes, évidemment créé pour la douceur et la tendresse, il eût atrocement souffert à voir ce que nous avons vu : à voir des peuples entiers pris de vertige, la face de la Terre ravagée et ensanglantée, la haine de races, qu'il croyait abolie, exaspérée jusqu'au désir de l'extermination; à voir se dresser à travers l'Europe cette barrière, indestructible et infranchissable, semble-t-il, séparant les amis d'hier, ceux qui collaboraient à des œuvres de paix, de lumière, de fraternité, ceux qui avaient oublié les vieilles frontières... et qui maintenant sont ennemis, pour combien de temps, grand Dieu? Il n'a rien connu

de ces choses; il a paru s'assoupir dans le calme de sa demeure, au sein de la cité prospère et joyeuse, dans le silence de la nuit pacifique, au déclin d'avril, en ce temps de l'année

. . . . . où la nature est douce,
Les collines ayant des lis sur leurs sommets.

Oui, en vérité, l'heure était favorable pour quitter les hommes et entrer tranquillement dans la mort : il a bien fait de mourir.

Mourir! quand on a été un tel vivant! Le dernier chapitre de son œuvre gigantesque, celui qui renferme ses *novissima verba*, est intitulé la Vie, *Das Leben*. L'auteur a-t-il songé, au moment de poser sa plume fatiguée, à ne pas s'arrêter là, à écrire un chapitre encore, où il eût confronté avec la vie la rivale mystérieuse de la vie, et qu'il eût intitulé la Mort, *Der Tod*? Y a-t-il songé, ce grand artiste, et a-t-il simplement reculé, comme tant d'autres, devant l'énigme impénétrable? Je ne sais. Mais voici que la confrontation s'opère, néanmoins, entre les deux rivales, d'autant plus poignante qu'elle est silencieuse ; et le chapitre supplémentaire prend de lui-même, posthume, sa place à la fin du livre. Quelle conclusion émouvante à une œuvre où l'intelligence humaine, emportée dans un essor superbe et dépassant toutes les cimes, plane au-dessus de la Création, au-dessus de la Terre informe et nue, au-dessus des ténèbres qui voilaient la face de l'Abîme, au-dessus des eaux sans rivages qui portaient l'Esprit du Seigneur, au-dessus des nuits et des jours que nul de nous ne dénombrera jamais, au-dessus des convulsions de l'écorce terrestre et des sommeils pesants où, pendant des siècles, elle se repose, au-dessus des êtres qui vécurent, un moment, et qui sont retournés en poussière, au-dessus des temps dont personne ne sait ni le commencement, ni la fin!

Les hommes passent vite, sur cette planète qui n'est elle-même qu'une passante, et qui se hâte vers un but invisible par les routes éphémères d'un ciel changeant. Neuf ans, bientôt, se seront écoulés depuis le jour, le triste jour d'hiver où le plus illustre disciple, l'ami, le révélateur et, dans de certains domaines, l'ins-

pirateur d'Eduard Suess, s'est endormi, prématurément, dans la paix promise aux travailleurs de bonne volonté. Qui donc, parmi les lecteurs de *La Face de la Terre*, a pu oublier l'admirable préface, si digne du livre, que Marcel Bertrand a écrite, en 1897, pour le premier volume de l'édition française? Nous étions au seuil de l'édifice, encore inachevé : l'allure cyclopéenne de cette construction nous étonnait et même nous effrayait un peu. Ce fut Marcel Bertrand qui, de son geste engageant et de sa voix rassurante, nous invita à entrer; ce fut lui qui commença notre initiation et pendant quelque temps, trop peu de temps! se fit notre guide. Maintenant l'étrange demeure aux proportions inaccoutumées est devenue un temple magnifique; et nous en avons, lentement, avec une admiration et une joie croissantes, traversé le parvis, visité les sanctuaires, analysé l'architecture, savouré les merveilles. Mais la voix s'est tue du guide éloquent et qui semblait infaillible, la voix que nous espérions entendre encore à la sortie, et qui eût si bien résumé nos impressions et ravivé nos jouissances. Glacée pour toujours, la main qui a écrit la préface n'écrira point l'épilogue. Enchaînons du moins ces deux souvenirs l'un à l'autre; et que, pour toute la durée de la science humaine, dans la pensée des géologues futurs, Marcel Bertrand et Eduard Suess restent inséparables! Ces deux esprits géants, de même lignée et de même patrie, ont abordé ensemble les mêmes problèmes; et, si l'on voit très bien, très clairement, ce que Marcel Bertrand a gagné an contact d'Eduard Suess, nul ne pourrait délimiter l'influence certaine du géologue français sur son ami de Vienne. Le renouvellement prodigieux de la Géologie dans les dernières années du XIXe siècle est dû surtout à l'apparition et au resplendissement de la double clarté, fraternellement indistincte, qui sortait d'eux et illuminait, dans le ténébreux passé, tout un monde de phénomènes et de transformations.

Le temple magnifique, ai-je dit. C'est bien ainsi que je considère *La Face de la Terre*, et c'est l'idée que les géologues et les géographes gardent déjà, et garderont toujours, de ce livre puissant. Nous y pénétrons avec piété; nous y causons à voix basse; la sérénité tombe des voûtes, en même temps qu'une

émotion religieuse; la lumière y joue avec de grandes ombres : c'est une lumière spéciale, non pas aveuglante, mais douce, magique et dorée; ce sont des ombres infiniment attirantes, où l'on sent se prolonger les vibrations invisibles qui touchent encore de très près à la lumière. Nous sortons réconfortés, ayant pris contact avec les multiples mystères du monde, ayant reçu quelques reflets, ayant ouï quelques accords de la symphonie universelle; et, pendant que nous redescendons, de la colline silencieuse vers la vallée pleine de rumeurs où l'humanité s'agite, des pensées insoupçonnées, des pensées nouvelles que nous avons prises là-haut comme une poignée de germes, s'éveillent, grandissent et s'ouvrent en notre esprit.

J'ai fait souvent cette expérience de montrer, à quelque homme cultivé dont les habituelles préoccupations n'étaient ni géologiques, ni géographiques, la table des matières du livre d'Eduard Suess, ou même, simplement, les titres des chapitres. L'impression a été, chaque fois, immédiate et profonde; et chaque fois j'ai vu passer, sur la physionomie de ce lecteur d'un instant, d'abord la surprise, puis l'admiration, enfin un nuage de regret : surprise et admiration devant la beauté des problèmes et la hardiesse de l'écrivain; regret de ne pouvoir entreprendre la patiente étude du livre, faute de loisirs ou d'une suffisante préparation scientifique. Invinciblement, le géologue improvisé feuilletait les volumes que je lui avais présentés, s'intéressant aux mouvements de la croûte extérieure du globe, s'attardant à dénombrer et à analyser les montagnes, cheminant avec l'auteur sur le bord de la mer à la plainte éternelle, agrandissant peu à peu le champ de sa contemplation, jusqu'à voir le visage entier de la planète, jusqu'à suivre les métamorphoses de ce visage mobile à travers les siècles innombrables.... Et quand se terminait l'heure fugitive de cette initiation trop brève, c'était, avec des remerciements pour la jouissance éprouvée, la promesse de bientôt revenir et de commencer une lecture plus attentive.

La Face de la Terre n'est pas un traité de Géologie. A vrai dire, ce livre ne ressemble à aucun autre livre de science; et,

quand on veut l'appeler de son véritable nom, le mot de poème se présente naturellement à l'esprit. C'est bien un poème, dans le sens complet de ce mot splendide qui veut dire création. Si je cherche, parmi les plus beaux poèmes écrits par les hommes, ceux auxquels on peut le comparer, je songe, immédiatement, au *Discours sur l'Histoire universelle* de Bossuet, à l'*Exposition du Système du Monde* de Laplace, à *La Légende des Siècles* de Victor Hugo. De même qu'Hugo, de même que Laplace, de même que Bossuet, Eduard Suess n'enseigne pas, il dit ce qu'il voit, comme il le voit; il n'explique pas, il présente; il ne démontre pas, il donne des impressions; il ne déduit pas, il a l'intuition, et il promulgue; il suppose que son lecteur sait tout ce que lui-même possède en son érudition colossale; il le convie à regarder l'histoire, l'espace, le monde, la terre, le temps, d'un point de vue situé hors de tout cela, hors du temps et de l'espace; il déroule à ses yeux, comme en se jouant, des visions gigantesques; il montre des rapports auxquels personne n'avait encore songé; il met de l'ordre dans le chaos et de la clarté dans les ténèbres; et, même si le chaos persiste, même si la clarté reste confuse et pénombrale, il continue sa route, imperturbablement, sans frayeur et sans vertige, comme si les abîmes étaient sa vraie patrie: il ne s'embarrasse pas des détails, et les théories, auxquelles se complaisent tant d'esprits de second ordre, lui semblent vaines; il est le peintre des vastes ensembles, le statuaire de la face terrestre; son unique souci, c'est la synthèse; il parle une langue que peu d'hommes parlent, mais que tous entendent, au moins vaguement; et le caractère de cette langue, presque toujours simple, aisément magnifique, est *la sérénité*.

Le privilège d'un tel livre est de durer longtemps, de ne vieillir que très lentement et de garder dans sa vieillesse la majesté et la beauté des choses impérissables. C'est le sort, infiniment enviable, des œuvres de génie. Les écrivains de génie n'ont pas tout dit; ils n'ont pas tout vu; ils se sont quelquefois trompés : qu'importe? Il leur restera d'avoir vu clair avant les autres hommes; d'avoir compris, alors que personne ne com-

prenait; d'avoir révélé à l'humanité des lueurs cachées, des domaines nouveaux; d'avoir été, plus ou moins, et de quelque façon,

Les esprits conducteurs des êtres,
. . . . . .
Ceux qui sentent la pierre vivre,
Ceux que Pan formidable enivre,
. . . . . .
Qui ramassent, dans les ténèbres,
Les faits, les chiffres, les algèbres,
Le nombre, où tout est contenu,
Le doute, où nos calculs succombent,
Et tous les morceaux noirs qui tombent
Du grand fronton de l'Inconnu.

La Géologie a marché d'un pas bien rapide depuis qu'Eduard Suess a écrit, en 1882, le premier volume de *Das Antlitz der Erde*, et même depuis qu'il a dicté, en 1908 et en 1909, les dernières pages du livre. Mais, directement ou indirectement, il a sa part, souvent prépondérante, dans toutes les récentes découvertes, soit parce qu'il les a prédites, soit parce qu'elles sortent nécessairement des idées qu'il a semées, soit parce que les géologues auxquels nous les devons sont ses disciples et ont pris à son école, avec la méthode exacte et féconde, le bel enthousiasme qui fait les savants perspicaces et les novateurs heureux. La synthèse de notre globe, telle qu'elle est réalisée dans *La Face de la Terre*, n'est pas absolument définitive; aucune question n'est complètement résolue; aucun mystère n'est supprimé; le nombre des problèmes n'a fait que s'accroître au fur et à mesure que s'étendait la connaissance. Mais les grandes lignes sont désormais tracées, du visage terrestre; et cette ébauche, exécutée par la main d'un maître, gardera sa vigueur et ses principaux traits sous les retouches successives. Tant qu'il y aura des géologues sur la terre, ils parleront entre eux des *unités* définies par Eduard Suess : de la Laurentia et du Faîte Sibérien; des Calédonides et des Altaïdes; du Bouclier Baltique, et de la cuirasse effondrée qui cache, dans l'Atlantique du Nord, le réservoir des laves ardentes; de la Terre de Gondwana, si vaste jadis, et dont

l'Inde, Ceylan, l'Afrique presque tout entière, le Brésil, sont les ruines; des Océanides, chaînes d'îles interrompant l'immense monotonie du Pacifique et témoignant qu'il existe, au fond des abîmes, un système de grandes rides montagneuses; des arcs insulaires qui donnent à l'extrémité orientale du Continent Eurasiatique un caractère si particulier; de l'Édifice Andin et de ses deux vastes avancées vers l'Est, Antilles du Nord et Antilles du Sud; des Alpes, enfin, des Dinarides, de l'Apennin et de l'Atlas qui sont les traits les plus récents et les plus marqués de l'Eurasie. Non seulement ils parleront de tout cela; mais ils emploieront, pour en parler, le même langage que nous : ils diront, comme nous, *avant-pays*, *avant-fosses*, *lignes directrices*, *guirlandes*, bien d'autres mots encore, de ces beaux mots que Suess créait avec une facilité merveilleuse, qui font image, et dont chacun évoque, instantanément, toute une manière d'être du relief terrestre, ou tout un long fragment de l'histoire géologique.

Parmi les découvertes récentes de la Géologie, il n'en est pas de plus importante que la constatation, dans la plupart des chaînes de montagnes, d'une structure *en grandes nappes*. On dit souvent « la théorie des grandes nappes, *Deckenlehre* », pour désigner cette découverte. En réalité, ce n'est point une théorie; c'est l'expression d'un fait, dont la théorie, c'est-à-dire l'explication, est encore très lointaine. Oui, c'est un fait que, dans les Alpes, qui sont actuellement la chaîne la mieux connue, des *nappes* se sont empilées les unes sur les autres, certaines ayant cheminé de quelques kilomètres; d'autres, de quelques dizaines de kilomètres; les plus élevées de 150 ou 200 kilomètres et peut-être davantage. Elles ont ainsi apporté, sur une même verticale, des terrains de même âge où les faciès, parfois, sont différents et incompatibles. C'est un fait qu'une structure semblable, avec une moindre amplitude dans les déplacements horizontaux, se retrouve aux Pyrénées et en Provence. C'est un fait que ni l'Apennin, ni l'Atlas ne peuvent s'expliquer sans l'intervention de vastes charriages, analogues à ceux des Alpes. C'est un fait que, dans les vieilles chaînes, chaîne houillère du Nord de la France,

chaîne gothlandienne ou dévonienne de l'Écosse et de la Scandinavie, il y a également des nappes. La nappe scandinave, qui rappelle, par son allure, la nappe la plus haute de l'Apennin, a cheminé de plus de cent kilomètres, par le travers de la Suède centrale ; les nappes écossaises, les nappes des Grampians, sont des plis couchés dont l'empilement a été postérieurement replissé, et elles ressemblent aux nappes helvétiques. On connaît des chevauchements sur le bord Ouest des Appalaches ; d'autres sur le bord oriental des Montagnes Rocheuses Canadiennes ; d'autres dans l'Himalaya ; d'autres dans les chaînes anciennes de l'Asie, par exemple dans la Chaîne Tonkinoise ; d'autres dans diverses îles de l'Océanie, comme Timor et la Nouvelle-Calédonie. Tantôt le déplacement paraît s'être produit en surface, tout un pays se mettant à cheminer sur une région voisine, qui est devenue son substratum et qui, elle-même, le plus souvent, n'a pas bougé. Tantôt il semble s'être produit en profondeur, par l'avancée irrésistible d'un coin qui s'est insinué violemment entre les terrains de la surface, demeurés immobiles ou peu mobiles, et un substratum plus profond, resté inébranlé.

Une conclusion se dégage, chaque jour plus évidente : c'est que, dans la déformation de l'écorce terrestre, les déplacements tangentiels sont le trait dominant, déplacements manifestés d'abord par les plis, ensuite — si le plissement s'exagère — par les charriages ; tandis que, dans le relief de la Lune, on cherche vainement la trace de pareils phénomènes, tout semblant se réduire, sur cet astre plus rapidement refroidi, à des mouvements verticaux, à des explosions et à des fractures. Les charriages terrestres se sont mis en marche à toute époque ; ils ont affecté de très nombreuses régions, et l'on peut même se demander s'il existe, sur la Terre, un point, un seul point où les matériaux, qui sont aujourd'hui placés sur la même verticale, aient tous appartenu à cette verticale depuis leur origine. La plupart des pays de la Terre, sans doute, sont actuellement *autochtones*, c'est-à-dire que les formations géologiques les plus voisines de la surface, en ces pays, ne se sont pas déplacées, tangentiellement, d'une façon appréciable ; mais combien de ces pays, actuellement

autochtones, ont été, autrefois, *pays de nappes*! Et que de charriages, indiciblement vieux et difficilement déchiffrables, seront peu à peu retrouvés, exhumés et reconstitués dans les grandes unités depuis longtemps figées, dans la Laurentia par exemple, ou l'Angara, ou la Terre de Gondwana! La recherche de ces très anciens phénomènes orogéniques, et leur comparaison avec les phénomènes analogues relativement récents, voilà l'un des principaux objets de la Géologie de demain, l'une des joies réservées à nos successeurs : et c'est par cette recherche et cette comparaison que, depuis quelques années déjà, l'intérêt revient aux régions de terrains primaires, ou de terrains cristallins, considérées, il y a seulement quinze ans, comme ayant révélé aux hommes tout ce qu'elles pouvaient leur révéler.

Dans le développement, prodigieusement rapide, de cette science nouvelle, de cette Tectonique, comme disent les géologues, l'influence de *La Face de la Terre* a été constamment très grande, souvent et pour beaucoup d'esprits décisive. Ce n'est pas qu'Eduard Suess ait lui-même *observé* les phénomènes grandioses et déconcertants dont je viens de parler, les chevauchements, les renversements, les charriages : non; il avait renoncé de bonne heure à l'observation sur le terrain, vers 1870, à une époque où de telles complications de structure étaient considérées comme très rares, locales et accidentelles. Mais il est le premier qui, du fond de son cabinet de travail encombré de livres et de cartes, ait *prévu* la fréquence de semblables phénomènes; leur généralité, même, au long de quelques zones, particulièrement comprimées, de la surface terrestre; enfin leur ampleur. Déjà en 1875, écrivant *Die Entstehung der Alpen*, il avait promulgué ce principe nouveau, que le déplacement tangentiel est le principal facteur de l'orogénie : et la brochure de 168 pages à laquelle il donnait ce titre contenait vraiment en germe toute la tectonique future, puisqu'on y trouvait exposées, dans un relief saisissant, l'unité de structure de la Chaîne Alpine; la poussée, venue du Sud, du Sud-Est ou de l'Est, et jetant, sur l'avant-pays inébranlable, les vagues de pierre, issues de la région plissée; l'analogie probable, avec la Chaîne Alpine, des autres chaînes de tout lieu et de

tout âge. Le premier volume de l'*Antlitz*, paru en 1883, précise ces enseignements, apporte des affirmations plus catégoriques, entr'ouvre, avec une hardiesse dont on n'avait pas encore d'exemple, le domaine de l'hypothèse : et cette hardiesse est communicative. Désormais, dans tous les pays où l'on cultive notre science, des géologues vont surgir, qui, ayant lu l'*Entstehung* et les deux premières parties de l'*Antlitz*, regarderont les montagnes comme un champ d'études magnifique, fécond, illimité. C'est par eux, c'est par les disciples, conscients ou inconscients, d'Eduard Suess, que la Tectonique naîtra, grandira, ouvrira ses ailes, s'orientera vers ses destinées. Il leur fallait, à tous, une impulsion, une excitation, une direction originelles : c'est aux livres de Suess qu'ils les doivent. Dans ce sens, il est tout à fait vrai de dire que la Tectonique moderne est fille d'Eduard Suess. A coup sûr, elle n'aurait pas grandi si vite, elle n'aurait pas eu cet essor conquérant et triomphal, si elle n'avait pas été suscitée, simultanément, dans toutes les écoles géologiques du monde, par la voix du Maître de Vienne.

De ces géologues qui se lèvent ainsi à l'appel d'Eduard Suess et que son enseignement va jeter, pour toute la vie, à la contemplation des montagnes et à la patiente analyse de leur structure, le plus illustre sera Marcel Bertrand. L'observateur plein de génie et infiniment perspicace qui fondera sur des bases précises, sur des données certaines, la doctrine des grandes nappes, la thèse des vastes charriages, ce sera lui. L'homme qui, en 1884, près de vingt ans avant les autres, tentera d'expliquer par un immense phénomène de recouvrement, venu du Sud, toute les Alpes Centrales, ce sera lui. Mais, sans les livres d'Eduard Suess, Marcel Bertrand lui-même ne deviendrait point le géologue qu'il va devenir ; et c'est dans l'*Entstehung* et dans le premier volume de l'*Antlitz* qu'il a trouvé sa vocation scientifique.

Quelques années passent. La Tectonique est en plein essor. Et voici, de toute part, les découvertes qui surgissent, les découvertes que Suess avait prévues et qu'il attendait! Mais combien ses prévisions sont dépassées! L'ampleur des recouvrements,

l'étendue des charriages sont autres qu'il ne pensait, incomparablement plus grandes, si grandes qu'il hésite un peu, tout d'abord, à les reconnaître et à les accepter. Loin d'avoir exagéré le rôle des déplacements tangentiels, il est resté, en l'évaluant, bien au-dessous de la réalité. Cet homme, qui avait paru d'une hardiesse extraordinaire, est aujourd'hui parmi les timides. Il a peur que ses élèves n'aillent trop loin, qu'ils ne s'égarent, emportés par l'imagination, sur les sentiers de la fantaisie, dans le domaine, trop vaste et insuffisamment tracé, de l'hypothèse; et son geste, qui les excitait, au départ, cherchera désormais à les retenir. Pendant dix ans, Marcel Bertrand apparaîtra comme le plus audacieux de tous..., puis l'on s'apercevra que Marcel Bertrand, comme Eduard Suess, a manqué d'audace. Tant la Terre est grande, par rapport à l'homme! Tant nous avons de peine, du fond de notre petitesse et de notre fragilité, à concevoir les forces immenses que met en jeu la contraction de la planète! Tant sont puissantes, impérieuses et prolongées, les causes qui ont fait se dresser les montagnes! Vraiment c'est en sage qu'Hamlet parle, quand il dit à Horatio : « Il y a plus de choses au ciel *et sur la terre* que dans toute ta philosophie ».

Le troisième volume de *Das Antlitz der Erde* est venu longtemps après les deux premiers. En lisant les fascicules, successivement parus, dont il se compose, on suit, pas à pas, les progrès de la Tectonique, le développement de cette science structurale dont Eduard Suess a été l'un des fondateurs et qui grandit sous ses yeux, d'année en année, d'une façon merveilleuse. Elle reste, cette science, la grande préoccupation de l'auteur. Rien ne paraît plus important à Eduard Suess que de signaler dans son livre, au fur et à mesure qu'elles lui sont connues, les observations nouvelles qu'il a appelées, qu'il a provoquées, qu'il attend; les observations qui nous font pénétrer dans les secrets des montagnes sveltes, élancées, presque inaccessibles, ou des montagnes usées, arrondies, aplanies, ensevelies. Les pages où il décrit les grands charriages, ceux d'Écosse, ceux de Suède et de Norvège, et, plus tard, ceux de Provence, des Alpes, des Carpathes, des Montagnes Rocheuses, sont émouvantes, tant on y sent palpiter

une joie profonde, la joie du Maître qui a deviné où était la vérité, où se cachait la lumière, qui a montré à ses disciples le chemin conduisant à la lumière et à la vérité, et qui voit ses disciples revenir, enthousiastes et éblouis de la vision promise. — « Je pensais bien que c'était ainsi » — me disait-il, en 1903, pendant la session du Congrès géologique international de Vienne, un jour que nous causions des Carpathes et de la brillante théorie proposée, à leur sujet, par Maurice Lugeon, —« je pensais bien que « les Carpathes étaient charriées; et vous vous rappelez ce que « j'en ai dit, il y a déjà longtemps, dans l'*Antlitz*, en exhumant « une ancienne idée de Hohenegger; mais on n'a pas voulu me « comprendre. Eh bien! allez visiter nos Alpes Autrichiennes; « vous y verrez de grandes choses. Tout est à faire! On n'a pas « compris! On n'a pas compris! »

Aujourd'hui, grâce aux disciples de Suess, grâce au mouvement scientifique dont il a été l'excitateur et le chef, on commence à comprendre; et le brouillard se lève, qui couvrait les chaînes de montagnes. Le contraste est grand, dans *La Face de la Terre*, entre les chapitres du troisième volume que l'auteur a consacrés aux Alpes et ce qu'il a dit autrefois de cette même chaîne. Ce n'est pas encore la claire vision de la synthèse alpine; mais les faits, déjà presque innombrables, se coordonnent autour de quelques idées simples et se groupent harmonieusement. L'adhésion à la doctrine des grandes nappes est complète et formelle, non seulement pour les Alpes Occidentales, de beaucoup les mieux connues, mais aussi pour les Alpes Centrales et les Alpes Orientales. Dans ces trois chapitres, l'accent est particulier; ils ont été écrits avec plus de soin, avec plus d'amour que les autres; et sans doute, l'auteur a écrit chacun d'eux plusieurs fois, jusqu'à ce qu'il eût trouvé la forme adéquate à sa pensée. Les Alpes ont toujours été son sujet de prédilection. C'est pour prendre parti dans l'ardente controverse engagée à propos des Alpes Orientales qu'il accomplit, à Nauders, dans la vallée de l'Inn, en 1905, sa dernière tournée géologique. Au retour, il prit parti définitivement. Il pouvait, dès lors, terminer son livre.

Livre extraordinaire, vraiment, et qui, dans son ensemble, ne

peut pas être trop loué; livre où chaque géologue vient, quand il est désorienté, retrouver sa route, et, quand il est fatigué, ranimer son énergie; livre donneur de clartés, excitateur d'enthousiasmes, inspirateur d'hypothèses fécondes, guide et soutien de l'observateur dans sa pénible marche à la conquête des phénomènes; grenier d'idées, et trésor de résultats acquis; école, tout à la fois, de hardiesse et de prudence; livre qui fait, à nos yeux, le monde plus vaste, la Terre plus éclairée et mieux comprise, et dont la lecture nous laisse une impression non pareille, l'impression d'une « Invitation au voyage » captivante et berceuse, murmurée par une voix très douce et nous entraînant à parcourir la Création enchanteresse.

Il est divers, ce livre; et il est un. Commencé avant 1880, achevé en 1909, son élaboration a pris plus de trente années d'une vie incroyablement laborieuse : d'où sa diversité, qui est comme un raccourci des transformations et des progrès de la Science pendant ce tiers de siècle. Il est un, néanmoins : non seulement par le style, qui n'a point changé et qui a, tout au long du livre, la même gravité majestueuse, la même plasticité, la même sérénité; mais aussi par les idées générales, qui, presque toutes, datent de la jeunesse de l'auteur. Il expose l'histoire de la Géologie, dans le passé; et il semble la prophétiser, dans l'avenir. Quand on lit les derniers chapitres, ceux que contient l'ultime fascicule, on a la vision anticipée de la Géologie de demain, de la Géologie à laquelle seront conviés les jeunes hommes quand la Paix bienheureuse aura étendu sur l'Europe son ombre réparatrice.

La Géologie de demain! Celle qui prolongera et complétera les « Analyses »; celle qui pénétrera peut-être, qui sait? dans « les Profondeurs »; celle qui éclairera quelques-uns des mystères de « la Vie »; celle qui résoudra, pour toujours, le problème des montagnes vagabondes et le problème des régions stables; celle qui dira l'origine du granite et la cause du métamorphisme; celle qui fixera le rôle des volcans et les lois de leur répartition; celle qui s'essaiera à supputer quelques durées, tout au moins la durée des temps quaternaires, tout au moins l'âge de l'humanité; celle qui promulguera la formule des lents mouvements terres-

tres, ondulations de l'écorce, déplacements des rivages, et qui narrera les soudains cataclysmes où les Atlantides disparaissent. N'est-ce pas qu'elle prend corps, sous nos yeux, cette science de demain, cette belle science de rêve, quand, après avoir lu les derniers chapitres de *La Face de la Terre*, nous fermons le livre et laissons notre esprit errer dans l'immensité? Toutes les pensées défilent alors devant nous, toutes les pensées qu'a suscitées la parole du Maître; et c'est un cortège innombrable, cheminant dans une lueur indécise encore, une lueur d'aube. Mais voici que la lumière augmente; c'est le plein jour, et nos pensées se précisent; d'autres, en foule, se joignent au cortège, maintenant en marche dans un rayonnement de gloire. La scène change : au sein de l'espace immense et noir, voici la Terre, resplendissante, racontant, par ses meurtrissures et ses rides, la longue suite de ses vicissitudes, et laissant pénétrer nos regards jusqu'au fond de ses gouffres. C'est bien elle : nous la reconnaissons; nous la reconnaîtrions entre tous les astres du firmament. Impossible de la confondre avec aucune autre sphère! C'est elle qu'Eduard Suess nous a décrite, tant de fois; c'est la vision par laquelle se termine le chapitre des « Analyses ». La netteté et la clarté se sont accrues, certes, et les ombres ont fui; mais le visage n'a point changé : le visage familier, le visage creusé et tourmenté, la face douloureuse — sans doute parce qu'elle exprime et résume l'infinie douleur des pauvres hommes —, la face douloureuse de la Terre.

Après avoir goûté ces fortes et pures jouissances — jouissances de la lecture et jouissances, plus fortes peut-être, de la rêverie provoquée par elle —, le lecteur de cette traduction française se souviendra des deux hommes à qui il les doit; et il associera, dans un même sentiment de profonde gratitude, le traducteur à l'auteur, le disciple au maître, Emmanuel de Margerie à Eduard Suess.

Feuilletez les trois volumes de l'édition allemande, lentement, attentivement; feuilletez aussi la table des noms cités, qui est elle-même comme un quatrième volume; et essayez de vous

rendre compte du courage qu'il a fallu pour entreprendre la traduction en langue française de cette œuvre immense, de la persévérance qui a été nécessaire au traducteur pour ne point défaillir au long du chemin, pour ne point abandonner la tâche commencée. Je me rappelle mon étonnement, et l'admiration que je conçus aussitôt pour le caractère d'Emmanuel de Margerie, encore inconnu de moi, le jour de l'année 1890 où Marcel Bertrand me dit ces simples mots : « De Margerie a l'intention de traduire l'*Antlitz*; vous verrez qu'il ira jusqu'au bout ». Une fois de plus, Marcel Bertrand a été bon prophète.

Ouvrez maintenant l'édition française à côté de l'édition allemande; et comparez le volume au volume, le chapitre au chapitre. Vous serez émerveillé, non seulement par l'exactitude scrupuleuse de la traduction, non seulement par la fidélité respectueuse, vraiment filiale, du disciple à garder l'accent du maître et à reproduire jusqu'aux moindres nuances de sa pensée, mais encore par la prodigalité magnifique avec laquelle ce disciple a *enrichi* l'œuvre d'Eduard Suess. Plus on avance dans le livre, plus cet enrichissement devient manifeste. Au lieu de se fatiguer, de s'épuiser, le traducteur dilate son érudition et sent croître son enthousiasme; et voici qu'il ajoute, à chaque fait cité par l'auteur, dix autres faits qui complètent le premier et le mettent en pleine lumière. De sorte que l'édition française, qui garde, dans son texte principal, la sobriété et la clarté du texte allemand, offre, en outre, à son lecteur, tout un monde de documents, notes, cartes ou coupes, dont chacun vient à sa place et apporte un enseignement utile.

Alors vous comprendrez l'affection d'Eduard Suess pour Emmanuel de Margerie. Je n'ai jamais pu parler, au Maître, de son traducteur français, sans voir apparaître les larmes dans ses yeux splendides, où semblait se refléter la majesté de l'univers.

En vérité, Emmanuel de Margerie a bien mérité de la Science. Il a ouvert, largement et définitivement, à tous les savants de race latine l'accès du « temple magnifique ». Grâce à lui, dans une moitié du monde scientifique, l'œuvre de Suess pénétrera, plus compréhensible et plus riche; et, dans l'autre moitié, bien

des savants, qui ont lu *Das Antlitz der Erde*, préféreront *La Face de la Terre*. La diffusion du Livre sera ainsi augmentée; et son influence deviendra plus profonde et plus durable, son influence bienfaisante et illuminatrice, conseillère de travail patient et désintéressé, de réflexion audacieuse et féconde, conseillère de fraternité.

PIERRE TERMIER,
de l'Académie des Sciences.

20 décembre 1915.

GB
53
S814
t.3
pt.4

Suess, Eduard
La face de la terre

PLEASE DO NOT REMOVE
CARDS OR SLIPS FROM THIS POCKET

UNIVERSITY OF TORONTO LIBRARY

UTL AT DOWNSVIEW
D RANGE BAY SHLF POS ITEM C
39 13 04 22 02 016 4